

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет Інформатики та обчислювальної техніки
Кафедра Автоматики та управління в технічних системах

До захисту допущено
Завідувач кафедри

(підпис) Ролік О. І.
(ініціали, прізвище)
«__» _____ 2020 р.

Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Комп'ютеризовані системи управління»
спеціальності 151 « Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
на тему: «Роботизована система попередження розповсюдження коронавірусу
COVID-19»

Виконав:
студент IV курсу, групи ІА-62
Цінський Семен Вячеславович

Керівник: к.т.н., доцент
Писаренко Андрій Володимирович

Рецензент:

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає
запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет інформатики та обчислювальної техніки

(повна назва)

Кафедра автоматики та управління в технічних системах

(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Ролік О. І.

(підпис)

(ініціали, прізвище)

«__» _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Цінському Семену Вячеславовичу

1. Тема проекту «Роботизована система попередження розповсюдження коронавірусу COVID-19», керівник проекту Писаренко Андрій

Володимирович, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від

«__» _____ 2020 р.

№ _____

2. Термін подання студентом проекту 9 червня 2020 року

3. Вихідні дані до проекту:

Виявлення людини на відстані до 20 метрів, обробка відео потоку з частотою 30 кадрів на секунду, аналіз до 7 об'єктів у кадрі.

4. Зміст пояснювальної записки: 1. Вступ 2. Огляд існуючих рішень 3. Розроблення схеми електричної структурної 4. Розроблення схеми електричної функціональної 5. Вибір окремих пристроїв та елементів 6. Розроблення моделі рухової підсистеми робота 7. Розроблення програми детекції об'єктів 8. Висновки

5. Перелік графічного матеріалу: схема електрична структурна, схема електрична функціональна, математична модель рухової підсистеми робота, часові діаграми

6. Дата видачі завдання: 11 березня 2020 року.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Аналіз теоретичних матеріалів та вивчення предметної області	15.04.2020 р.	
2	Вибір технологій та засобів для реалізації задачі	19.04.2020 р.	
3	Огляд існуючих рішень з тематики роботи	27.04.2020 р.	
4	Реалізація проекту	05.05.2020 р.	
5	Оформлення текстової документації	08.06.2020 р.	

Студент _____
(підпис)

Керівник проекту _____
(підпис)

Цінський С. В. _____
(ініціали, прізвище)
Писаренко А. В. _____
(ініціали, прізвище)

АНОТАЦІЯ

Цінський С. В. Роботизована система попередження розповсюдження коронавірусу COVID-19. КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, 2020.

Пояснювальна записка містить 68 с. тексту, 40 рисунків, 2 додатки та 43 літературних джерел.

Ключові слова: Роботизована система, робот, розпізнавання облич, YOLO, програма детекції об'єктів.

Об'єктом розробки є Роботизована система попередження розповсюдження коронавірусу COVID-19

Мета розробки – зменшення швидкості розповсюдження вірусної інфекції, зокрема COVID-19, серед людей, що проживають у містах з великою щільністю населення.

Дипломний проект присвячено проектуванню та розробленню роботизованої системи попередження розповсюдження коронавірусної інфекції COVID-19, що виявляє потенційних носіїв вірусу серед населення. Було проведено аналіз існуючих рішень та розроблено автономного робота для сканування простору на предмет виявлення потенційних носіїв вірусної інфекції, шляхом аналізу штучною нейронною мережею відео з камер робота.

SUMMARY

Tsinskyi S.V. Robotic system of preventing the spread of coronavirus COVID-19. Igor Sikorsky KPI, Kyiv, 2020.

The explanatory note contains 6 pages of text, 40 images, 2 additions and 43 literary sources.

Keywords: Robotic system, robot, face recognition, YOLO, object detection program.

The object of development is a robotic system of preventing the spread of coronavirus COVID-19.

The aim of the development is to reduce the spread of viral infections, in particular COVID-19, among people living in densely populated cities.

The diploma project is dedicated to designing and development of a robotic system of preventing the spread of coronavirus COVID-19, which detects potential carriers of the virus among the population. An analysis of existing solutions was performed and an autonomous robot was developed to scan the space for potential carriers of viral infection, by analyzing video from the robot's cameras by artificial neural network.

Пояснювальна записка
до дипломного проекту
на тему: «Роботизована система попередження
розповсюдження коронавірусу COVID-19»

Київ – 2020 рік

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ	6
1.1 Робот Spot.....	6
1.2 Робот-дезінфектор «Скорпіон».....	7
1.3 Робот компанії Smart origin robotics	8
1.4 Висновки до розділу	8
2 РОЗРОБЛЕННЯ СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СТРУКТУРНОЇ.....	10
2.1 Висновки до розділу	13
3 РОЗРОБЛЕННЯ СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ.....	14
3.1 Висновки до розділу	17
4 ВИБІР ОКРЕМИХ ПРИСТРОЇВ ТА ЕЛЕМЕНТІВ	18
4.1 Висновки до розділу	32
5 МОДЕЛЮВАННЯ РУХОВОЇ ПІДСИСТЕМИ РОБОТА	33
5.1 Розрахунок навантаження та характеристик рухових двигунів.....	33
5.2 Розроблення моделі рушійних двигунів	35
5.3 Розроблення моделі драйвера	37
5.4 Розроблення моделі системи керування	39
5.5 Розроблення моделі відображення траєкторії руху робота	43
5.6 Результати моделювання.....	46
5.7 Висновки до розділу	50
6 РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ДЕТЕКЦІЇ ОБ'ЄКТІВ	51
6.1 Вибір алгоритму	53

					<i>IA62.300BAK.005.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>		<i>Роботизована система попередження розповсюдження коронавірусної інфекції COVID-19</i>			
<i>Розробив</i>		<i>Цінський С.</i>						
<i>Перевірив</i>		<i>Писаренко А.</i>						
<i>Н. контр.</i>								
<i>Затв.</i>								
					<i>Літ.</i>	<i>Лист.</i>	<i>Листів</i>	
					<i>Т</i>		<i>2</i>	<i>69</i>

6.2 Тренування нейронної мережі	55
6.3 Розроблення програми	57
6.4 Висновки до розділу	58
ВИСНОВКИ.....	59
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	61
ДОДАТОК А.....	Ошибка! Закладка не определена.
ДОДАТОК Б	Ошибка! Закладка не определена.

ВСТУП

У всі часи однією з основних загроз людству були вірусні інфекції. Віруси загалом розповсюджуються повітряно-крапельним шляхом, що, особливо в умовах великих міст з великою щільністю населення, призводить до того, що швидкість зараження має експоненційний характер. Велике різноманіття вірусів та їх еволюційний розвиток, що призводить до появи нових штамів, робить розробку вакцини проти усіх вірусів неможливою. Отже єдиний спосіб боротьби з такими інфекціями, до розробки вакцини та вакцинації населення, є міри по попередженню їх розповсюдження.

Основною мірою запобігання зараження є запровадження карантину на територіях можливого розповсюдження вірусу. Але хоча глобальна мережа інтернет і зробила можливими дистанційні роботи і навчання великої кількості населення, повністю ізолювати людей з багатьох причин неможливо. За таких умов особливо важливо якомога швидше виявляти носіїв вірусу для їх дистанціювання від людей, що не виробили імунітет до хвороби. Тестування медичним шляхом усього населення є неможливим, та скоріше призведе до скупчень людей у пунктах тестування, що лише збільшить швидкість зараження. Оскільки одним із симптомів зараження є підвищена температура тіла, більш реальною та ефективною мірою є виявлення потенційних заражених шляхом її виміру та вже потім тестувати їх на наявність вірусу в організмі.

Задля виявлення людей з підвищеною температурою на входах закладів з великою вірогідністю розповсюдження інфекції знаходяться працівники, що проводять виміри температури відвідувачів та обмежують вхід тим, хто не має засобів особистого захисту таких як маска чи респіратор. Але, по-перше, залишається вірогідність зараження самих працівників, що будуть розповсюджувати вірус серед великої кількості відвідувачів. По-друге, такий спосіб потребує великої кількості незайнятих, працездатних людей та захисні костюми високого класу для них, які в такий період більш потрібні працівникам

					ІА62.300БАК.002 ПЗ	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		4

медичної сфери.

З огляду на такий стан речей, більш ефективними та безпечними є автоматизовані системи виміру температури тіла. Такі системи роблять виміри швидше, та не потребують створення черги на перевірку, що призводить до суттєвого зниження ризику розповсюдження хвороби серед відвідувачів громадських місць.

У великій кількості громадських закладів вже впроваджені стаціонарні системи виміру температури тіла відвідувачів, але виявлення потенційних носіїв інфекції лише у місцях великої щільності людей може призвести до того, що перед ізоляцією зараженого, він вже розповсюдить вірус у цьому місці. Тому раціональним буде намагатися виявити носіїв ще до того, як вони потраплять до закладу з підвищеним ризиком розповсюдження. Для таких цілей розробляються роботизовані системи, що пересуваються вулицями та перевіряють зустрічних людей на наявність засобів особистого захисту та ознаки підвищеної температури.

Метою бакалаврського проекту є зменшення швидкості розповсюдження вірусної інфекції, зокрема COVID-19, шляхом розроблення системи попередження розповсюдження коронавірусної інфекції COVID-19.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані та вирішені наступні задачі:

- огляд існуючих систем попередження розповсюдження коронавірусу COVID-19;
- розроблення схеми електричної структурної;
- розроблення схеми електричної функціональної;
- вибір технічних засобів в системі;
- розроблення моделі рухової підсистеми робота;
- розроблення нейронної мережі для розпізнавання облич людей, які вдягнули або не вдягнули маску.

1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

Стрімкий розвиток технологій у різних областях останніх десятиліть забезпечив розробників роботизованих систем широким спектром технічних засобів для розроблення та впровадження систем, що зможуть замінити людську працю у випадках коли вона є небезпечною, дороговартісною або некомфортною. Донедавна робота у медичній сфері не вважалася небезпечною, але зіткнення з пандеміями в останні часи змінила це, та підштовхнула розробників до впровадження різноманітних засобів боротьби із ними.

1.1 Робот Spot

Робот від компанії Boston Dynamics [1] перевіряє чи дотримуються люди безпечної дистанції один від одного. Конструктивно робот нагадує тіло собаки та пересувається схожим із нею способом, що дає змогу розвивати високу швидкість на нерівному покритті та забезпечує йому вищу прохідність загалом. Робот ввічливо просить пішоходів та велосипедистів дотримуватись дистанції не менше метра між собою шляхом відтворення заздалегідь записаного аудіоповідомлення. Він оснащений відеокамерою та аналітичними засобами для збору статистики щодо кількості людей на вулиці та може інформувати людей про введення додаткових мір дистанціювання.



Рисунок 1.1 – Робот Spot від компанії Boston Dynamics [2]

					ІА62.300БАК.002 ПЗ	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		6

Робот використовує стереокамери для виявлення перешкод під час руху, що сумарно мають кут огляду 360°. Максимальна швидкість руху – 1.6 м/с, час роботи без дозарядки акумулятора – 90 хв. Акумулятор змінний.

Такий робот інформує населення та збирає статистику для уряду, але не впроваджує заходів з виявлення інфікованих.

1.2 Робот-дезінфектор «Скорпіон»

Основною функцією є обробка простору спеціальними розчинами для дезінфекції. Робот від компанії Promobot [3] має малі габарити та пересувається на гусеницях, що дозволяє йому пересуватися сходами та діставатися місць, недоступних для великої техніки. Система оснащена відеокамерою, ультразвуковими датчиками для виявлення перешкод та системами GPS/ГЛОНАСС для навігації, що дозволяє роботу пересуватися без участі оператора. Також система надає можливість ручного керування через 3G зв'язок, один оператор може контролювати до 20 апаратів.



Рисунок 1.2 – Робот-дезінфектор від компанії Promobot [4]

					ІА62.300БАК.002 ПЗ	Лист
						7
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Шляхом дезінфекції простору така система суттєво знижує ризик зараження через дотик до поверхонь, де може залишатися інфекція, але оскільки основним способом розповсюдження вірусу є повітряно-крапельний шлях, що має місце за безпосереднього наближення здорової людини до носія вірусу, така система не є найбільш ефективною у попередженні розповсюдження вірусу.

1.3 Робот компанії Smart origin robotics

Мобільний робот виявляє потенційних носіїв вірусної інфекції. Робот оснащений відеокамерою та тепловізором. Під час патрулювання вулиць, за допомогою інтелектуальних технологій розпізнавання обличчя та виміру температури тіла робот здатен відстежувати 32 цілі одночасно. Окрім перевірки температури, робот також може виявити, чи носить людина засоби особистого захисту такі, як маска для обличчя чи респіратор. Якщо ні, система дає усне попередження. Система використовує 5G зв'язок та хмарні обчислення для аналізу даних.

Дана система зменшує ризик розповсюдження вірусу через безпосередній контакт із носіями вірусу шляхом їх виявлення для послідувочої ізоляції, але використання хмарних технологій для аналізу даних робить її залежною від високошвидкісного зв'язку, що робить можливим запровадження такої технології лише на територіях з покриттям 5G мереж.

1.4 Висновки до розділу

У даному розділі було оглянуто існуючі системи попередження розповсюдження коронавірусної інфекції. Кожне з розглянутих рішень має власний підхід до вирішення проблеми, різні можливості та обмеження. Їх функціональні призначення не є взаємо заміінними, що робить можливим та раціональним впровадження даних систем у комплексі для виконання таких задач як інформування населення, дезінфекція простору та виявлення

					ІА62.300БАК.002 ПЗ	Лист
						8
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

потенційних носіїв вірусу.

Але обмеження деяких з цих систем роблять неможливим впровадження їх у багатьох містах світу, що робить актуальним проектування та розробку подібних систем з іншими характеристиками.

З огляду на такий стан речей, для досягнення поставленої мети, у даному дипломному проекті було спроектовано автономну роботизовану систему для патрулювання громадських місць, що попереджує громадян, що не носять засоби особистого захисту, та виявляє потенційних носіїв вірусу шляхом дистанційного вимірювання температури тіла.

					ІА62.300БАК.002 ПЗ	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		9

2 РОЗРОБЛЕННЯ СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СТРУКТУРНОЇ

Загальна архітектура роботизованої система описується за допомогою схеми електричної структурної. На ній представлені основні елементи системи та те, як вони між собою пов'язані. Сама схема представлена на кресленику ІА62.300БАК.003 Э1.

Для розроблення схеми були вирішені основні задачі системи, а саме:

- автономне патрулювання заданого простору;
- дистанційний вимірювання температури тіла;
- виявлення чи вдягнені люди у засоби особистого захисту;
- усне попередження людей, що не вдягнені у засоби особистого захисту;
- повідомлення відповідних структур про виявлення потенційного носія інфекції.

За допомогою мобільного додатку роботу задаються координати області для патрулювання. Під час патрулювання робот за певним алгоритмом об'їжджає дану область скануючи простір та виконує поставлені перед ним задачі по виявленню можливих носіїв коронавірусної інфекції, шляхом виміру температури тіла, та інформування населення про важливість наявності засобів особистого захисту.

Для автономного патрулювання система має містити засоби навігації у просторі, давачі дослідження простору, виконавчі пристрої для переміщення робота та давачі підтримки руху. Для цих потреб систему було оснащено наступними елементами:

- модуль GPS;
- електронний компас;
- гіродатчик;
- ультразвуковий давач відстані;
- інфрачервоний давач перепаду висоти;
- бампер з кнопками;
- акселерометр;

					ІА62.300БАК.002 ПЗ	Лист
						10
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- два двигуни постійного струму;
- драйвер двигунів постійного струму;
- кроковий двигун;
- драйвер крокового двигуна;
- давач кута повороту крокового двигуна;
- енкодери для виміру параметрів руху двигунів постійного струму.

Усі ці елементи підключено до головного обчислювального пристрою, який виконує керування усіма елементами та аналіз даних, що з них надходить.

Модуль GPS отримує сигнал від декількох супутників та використовує його для обчислення відстані до кожного з них, точно знаючи їх місцезнаходження. Це дозволяє обчислити власні координат у системі WGS 84. Окрім координат, сучасні GPS модулі також здатні обчислювати курс та швидкість власного руху відносно поверхні землі.

Електронний компас дозволяє з'ясувати напрямок руху робота відносно магнітного поля землі без застосування системи GPS. Це корисно у випадках, коли застосування системи GPS неможливо, наприклад, у закритих приміщеннях або інших місцях, де з якихось причин прийняти сигнал від супутників не є можливим. Компас також може виконувати роль давача кута повороту робота та забезпечую зв'язок при керуванні двигунами постійного струму.

Гіродатчик працює за принципом гіроскопа з трьома ступіннями свободи та реагує на зміну положення робота у просторі. За допомогою гіродатчика можна визначати зміну кута поверхні, якою рухається робот, до горизонту або будь-яку іншу зміну положення робота відносно центру землі.

Ультразвуковий давач відстані використовується для дослідження простору, зокрема виявлення перешкод для руху робота таких, як стіна, дерево, автомобіль, людина та ін.

Інфрачервоний давач перепаду висоти сканує поверхню якою рухається робот та потрібен для уникнення різких перепадів висоти поверхні, на яких робот може перевернутися або пошкодити себе.

Бампер з кнопками потрібен для збору інформації про оточуючий простір та сигналізує про зіткнення системи з перешкодою, для подальшого її обходу.

Акселерометр вимірює величину прискорення системи, що дозволяє отримувати параметри руху робота, та забезпечує зворотній зв'язок при керуванні руховими двигунами постійного струму.

Двигуни постійного струму потрібні для переміщення робота у просторі та забезпечують його рух вперед, назад або повороти вліво та вправо, шляхом повороту двигунів у протилежних напрямках.

На драйвер двигунів постійного струму надходить керуючий сигнал з обчислювального приладу, що містить у собі інформацію про напрямок та частоту обертів ДПС, та живлення від акумулятора.

Кроковий двигун забезпечує поворот відеокамери та інфрачервоної камери для ефективного сканування простору під час патрулювання.

Давач кута повороту крокового двигуна забезпечує зворотній зв'язок при керуванні поворотом камер для сканування простору.

Енкодери під'єднано до двигунів постійного струму. Під час оберту енкодер формує на виході імпульси, число яких на один оберт залежить від розрядності енкодера. Таким чином, керуючий пристрій може отримувати інформацію про кут повороту двигунів та частоту їх обертання.

Дистанційний вимір температури тіла виконується за допомогою інфрачервоної камери. Кожне тіло, що має температуру відмінну від абсолютного нуля, випромінює теплове електромагнітне випромінення. Потужність цього випромінення прямопропорційна температурі поверхні, що його випромінює. Матриця камери чутлива до електромагнітного випромінення у інфрачервоній області спектру. За допомогою швидкісного інтерфейсу CSI-2 камера підключена до обчислювального пристрою, на який передається зображення. Обчислювальний пристрій аналізує зображення, виявляючи на ньому людей, та фіксує максимальне значення температури поверхні їх тіла.

До обчислювального приладу також підключена відеокамера, зображення

					ІА62.300БАК.002 ПЗ	Лист
						12
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

з якої аналізуються за допомогою нейронної мережі. Нейронна мережа виявляє на зображенні обличчя людей та класифікує їх за ознакою наявності маски чи респіратора. У разі виявлення на зображенні людини без маски чи респіратора за допомогою динаміка система відтворює заздалегідь записане аудіоповідомлення, що містить попередження про високий ризик зараження у разі відсутності особистих засобів захисту.

Система оснащена модулем LTE, що забезпечує швидкісне підключення до глобальної мережі internet. За допомогою інтернет зв'язку система отримує керуючі команди про початок або закінчення сканування області, координати цієї області, зміну певних параметрів роботи або відключення певних функцій системи, що не є важливими для забезпечення її діяльності. У разі виявлення людини з підвищеною температурою тіла, система повідомляє про це, передаючи координати місця виявлення та фотографію потенційного носія вірусної інфекції.

Акумулятор забезпечує автономне живлення усіх систем роботи. За допомогою інтерфейсу USB type C він живить обчислювальний пристрій та через інтерфейс GPIO передає інформацію про свій стан.

2.1 Висновки до розділу

У даному розділі була описана загальна структура системи, окремі її частини та їх призначення. Система включає у себе головний обчислювальний пристрій до якого під'єднані інші підсистеми роботи. Отримуючи дані, що надходять від усіх підсистем, пристрій аналізує загальний стан системи, керує виконавчими пристроями через драйвери до них, підтримує роботу усіх підсистем та забезпечує виконання основних функцій системи та команд, що надходять від оператора.

					ІА62.300БАК.002 ПЗ	Лист
						13
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

3 РОЗРОБЛЕННЯ СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ

У даному розділі описується функціональна схема роботизованої системи, на якій більш детально представлені її складові для роз'яснення певних процесів, що протікають у окремих її вузлах. На схемі представлені згруповані за призначенням давачі та пристрої, та інтерфейси їх взаємодії між собою. Розроблена схема представлена на кресленику ІА62.300БАК.004 Э2.

Розроблена схема має наступні функціональні блоки:

- блок пристроїв навігації;
- блок виконавчих пристроїв;
- блок пристроїв підтримки руху;
- блок пристроїв дослідження простору;
- блок пристроїв вводу/виводу;
- обчислювальний пристрій.

Блок пристроїв навігації призначений для визначення положення системи у просторі, а саме координат місцезнаходження, трьохосьового положення робота у просторі відносно поверхні землі та напрямку курсу відносно магнітного поля землі. Блок містить такі елементи:

- модуль GPS;
- електронний компас;
- гіродатчик.

Кожен елемент блоку на виході формує цифровий сигнал та підтримує інтерфейс RS-232, отже вони не потребують додаткових пристроїв для передачі даних до обчислювального пристрою.

Блок виконавчих пристроїв містить такі елементи:

- два рушійних двигуна постійного струму;
- кроковий двигун позиціонування камер.

Двигуни постійного струму під'єднані через драйвер двигунів постійного струму. З обчислювального приладу на драйвер надходить керуючий сигнал, що містить інформацію про напрямки обертання двигунів, після чого на виходах

драйвера, що під'єднаний до ДПС формується напруга певної полярності.

Кроковий двигун позиціонування камер також підключений через драйвер. На вхід драйвера подається керуючий сигнал.

Блок пристроїв підтримки руху призначений для запровадження зворотнього зв'язку при керуванні виконавчими елементами та отримання інформації про параметри руху системи. Блок включає такі пристрої:

- акселерометр;
- давач кута повороту крокового двигуна;
- давачі кута повороту двигунів постійного струму.

Акселерометр на виході формує цифровий сигнал, отже не потребує додаткових пристроїв для обміну інформацією з обчислювальним пристроєм.

Давач кута повороту крокового двигуна складається з давача кута повороту, підсилювача, аналого-цифрового перетворювача та паралельно-послідовного перетворювача. При зміні положення крокового двигуна, на виході давача формується аналоговий сигнал, що підсилюється та надходить до аналого-цифрового перетворювача, який трансформує сигнал у цифровий, після чого за допомогою паралельно-послідовного перетворювача передається до обчислювального пристрою інтерфейсом RS-232.

Давачі кута повороту двигунів постійного струму складаються з енкодерів, підсилювачів, АЦП та паралельно-послідовних перетворювачів. Спосіб передачі сигналу до обчислювального пристрою ідентичний тому, що у давача кута повороту крокового двигуна.

Блок пристроїв дослідження простору складається з таких елементів:

- ультразвуковий давач відстані;
- інфрачервоний давач перепаду висоти;
- кнопки реєстрації зіткнення.

Ультразвуковий давач відстані та інфрачервоний давач перепаду висоти на виході формують цифровий сигнал та не потребують додаткових пристроїв для передачі сигналу на обчислювальний пристрій. Інтерфейс передачі RS-232.

Кнопки також не потребують додаткових пристроїв оскільки мають лише два стани: розімкнений та замкнутий.

Блок пристроїв вводу/виводу містить такі елементи:

- відеокамера;
- інфрачервона відеокамера;
- модуль LTE;
- мікрофон;
- динамік.

Відеокамера та інфрачервона відеокамера представляють собою складні пристрої, що приймають цифрові сигнали для керування та формують цифровий сигнал на виході для передачі даних. Пристрої підтримують інтерфейс CSI-2 для швидкісної передачі відеоматеріалів високої чіткості.

Модуль LTE є чіпом M.2 E форм-фактору, що має цифрові входи та виходи та не потребує додаткових пристроїв для передачі даних. Інтерфейс обміну даними з обчислювальним пристроєм – USB 2.0.

Мікрофон складається з мікрофона, підсилювача, АЦП та ППП. Під час запису на виході мікрофона формується аналоговий сигнал, що підсилюється та подається на вхід аналого-цифрового перетворювача, після чого за допомогою паралельно-послідовного перетворювача передається до входу обчислювального пристрою інтерфейсом RS-232.

Динамік складається з динаміка, підсилювача, цифро-аналогового перетворювача та послідовно-паралельного перетворювача. Для відтворення звуку на динаміку, з виходу обчислювального пристрою інтерфейсом RS-232 сигнал передається до послідовно-паралельного перетворювача, вихід якого підключено до ЦАП. На виході ЦАП аналоговий сигнал надходить на динамік.

Обчислювальний пристрій керує усіма пристроями системи. Він отримує сигнал від датчиків та пристроїв вводу/виводу, оброблює дані та забезпечує роботу усіх систем. Сам пристрій є платою з ЦП, оперативною пам'яттю та достатньою кількістю інтерфейсів для підключення усіх складових системи.

					ІА62.300БАК.002 ПЗ	Лист
						16
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Більшість пристроїв у системи для передачі даних використовують інтерфейс RS-232. Цей стандарт часто використовують для підключення обладнання, що не потребує високої швидкості обміну даних. Інтерфейс дозволяє підключати пристрої на відстані до 15 метрів. Модуль LTE та камери потребують вищої швидкості передачі, тому підключалися за допомогою USB 2.0 та спеціалізованого інтерфейсу CSI-2.

3.1 Висновки до розділу

У даному розділі були більш детально розглянуті складові системи та процеси, що протікають між ними. Під час розробки було визначено, як пристрої взаємодіють між собою, що дало змогу визначитися з вимогами до них. Отже можна переходити до вибору окремих пристроїв системи.

					ІА62.300БАК.002 ПЗ	Лист
						17
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

4 ВИБІР ОКРЕМИХ ПРИСТРОЇВ ТА ЕЛЕМЕНТІВ

У даному розділі будуть розглянуті вибір та обґрунтування окремих пристроїв системи, їх характеристики та принципи роботи. Головна мета розділу – підібрати елементи системи з характеристиками, що дозволять системі виконувати свої функції.

Центральним елементом системи є обчислювальний пристрій. Він отримує та обробляє інформацію про оточуючий простір та параметри руху, здійснює керування виконавчими пристроями та обробляє інформацію, що надходить з пристроїв вводу/виводу. Окрім забезпечення роботи базових систем робота, пристрій також аналізує відеоматеріали для виконання усіх задач робота, що потребує від нього доволі великої обчислювальної потужності. У ньому також мають підтримуватися відповідні інтерфейси для підключення інших пристроїв системи. Цим вимогам задовільняє пристрій jetson nano від компанії nvidia [5] зображений на рисунку 4.1.



Рисунок 4.1 – Nvidia jetson nano [6]

Плату оснащено відеокартою з 128 ядрами, що дозволяє кодувати та декодувати до 4 потоків чіткістю 1080p з частотою 30 Гц, та 4-ядерним процесором з частотою 1.43 Гц. Пристрій також налічує необхідні інтерфейси CSI-2 для підключення камер з високою швидкістю обміну даними. Модуль має високу продуктивність при розгортці на ньому нейронних мереж, що є одною з вимог до обчислювального пристрою у даній системі. При таких характеристиках, модуль має малі розміри та невисоке споживання електроенергії, що робить його хорошим вибором для побудови автономної роботизованої системи.

Основними вимогами до відеокамери є інтерфейс її підключення до системи, чіткість зображення та частота кадрів. Відеокамера має підтримувати інтерфейс CSI-2. Оскільки обчислювальний модуль системи може обробляти до 4 потоків у чіткості 1080p з частотою 30Гц і в системі також буде присутня ще одна камера у інфрачервоному спектрі, доцільно обирати відеокамеру з такими характеристиками. Підходящою камерою є LI-OS02C10-MIPI-M12 [7] від Leopard imaging inc, яка зображена на рисунку 4.2.



Рисунок 4.2 – Камера LI-OS02C10-MIPI-M12 [8]

Камера має роздільну здатність 1920x1080 пікселів та знімає з частотою до 120 кадрів на секунду. Камера має високу чутливість, здатна працювати при діапазоні температур від -35 до 85 градусів за шкалою цельсія та має маленькі розміри та вагу.

Для виміру температури у систему було додано інфрачервону відеокамеру. Матриця камери чутлива до електромагнітного випромінення у інфрачервоній області спектра. Оскільки кожна поверхня, що має температуру відмінну від абсолютного нуля, випромінює електромагнітні хвилі, довжина яких залежить від її температури, то за допомогою цього пристрою можна знімати температурні показники дистанційно. Для даного робота біло обрано камеру Teledyne Dalsa Calibir GXM640 [9], зображену на рисунку 4.3.



Рисунок 4.3 – Камера Teledyne Dalsa Calibir GXM640 [10]

Камера підтримує високошвидкісний інтерфейс CSI-2 та розроблена для дистанційного виміру температури у діапазоні від -25°C до 125°C. Матриця відеокамери має чіткість 640 пікселів по вертикалі та 480 по горизонталі, та знімає з частотою 30 кадрів на секунду.

Єдиним обмеженням до модуля LTE для даної системи є форм-фактор чипу, тому можна обрати будь-який модуль LTE, що підходить до M.2 E роз'єму. Одним з таких модулів є Huawei ME906E [11]. Зовнішній вигляд модулю

зображено на рисунку 4.4.



Рисунок 4.4 – Модуль LTE Huawei ME906E [12]

На сьогоднішній день використовують три технології побудови акселерометрів:

- п'єзоелектричні акселерометри;
- п'єзорезистивні акселерометри;
- акселерометри на змінних конденсаторах.

П'єзоелектричні акселерометри – найпоширеніший на сьогоднішній день вид акселерометрів, які широко використовуються для вирішення завдань тестування і вимірювань. Такі акселерометри мають дуже широкий частотний діапазон і діапазон чутливості, а також випускаються в різних розмірах і формах. Вихідний сигнал п'єзоелектричних акселерометрів може бути зарядовим або по напрузі. Датчики можуть використовуватися для вимірювань як удару, так і вібрації.

П'єзорезистивні акселерометри зазвичай мають малий діапазон чутливості, тому вони більше підходять для детектування ударів, ніж визначення вібрації.

Акселерометри на змінних конденсаторах відрізняються високою чутливістю, вузькою смугою пропускання і відмінною температурною

стабільністю. Акселерометри на змінних конденсаторах використовуються для вимірювань низькочастотної вібрації, руху і фіксованого прискорення.

Для виміру руху та фіксованого прискорення найбільш підходящим вибором стануть акселерометри зі змінною ємністю. Вони дозволяють вимірювати повільні зміни прискорення і низькочастотну вібрацію, при цьому рівень їх вихідного сигналу досить високий. Таким акселерометром є LIS3LV02DL [13] від компанії ST, зображений на рисунку 4.5.



Рисунок 4.5 – Акселерометр LIS3LV02DL [14]

Давач кута повороту крокового двигуна перетворює кут повороту двигуна у цифровий сигнал, що забезпечує зворотній зв'язок при керуванні ним. Давачі кута повороту поділяються на абсолютні та накопичувальні. Абсолютні давачі на виході формують сигнал що інтерпретується безпосередньо як кут повороту валу давача. Накопичувальні давачі на виході формують імпульси, підраховуючи як, приймаючи пристрій може обчислити положення валу. Давачі також поділяються за принципом дії на оптичні, резистивні, магнітні, індуктивні та механічні. Для даної системи було обрано давач AKSIM-2 [15].



Рисунок 4.6 – Давач кута повороту AKSIM-2 [16]

AKSIM-2 – абсолютний магнітний давач кута повороту, що має точність $\pm 0.05^\circ$. Діапазон робочих температур від -40°C до 105°C . Зовнішній вигляд давача представлений на рисунку 4.6.

Електронний компас складається з магнітометра, що вимірює напрямок та силу магнітного поля та контролера. За допомогою магніто-індуктивної технології контролер віднімає слабкі магнітні поля, що надходять від навколишніх приладів, від рівнодійної усіх магнітних полів, що призводить до високої точності роботи компаса.

Для даної системи потрібен трьохосьовий електронний компас. Таким модулем є 2 Pcs GY-271 QMC5883L [17], зображений на рисунку 4.7.

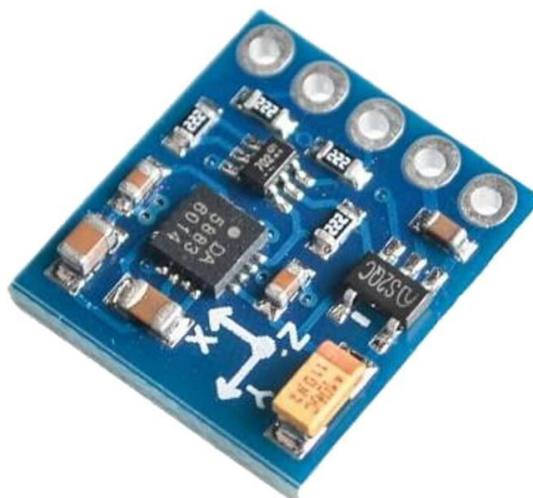


Рисунок 4.7 – Трьохосьовий електронний компас [18]

Модуль GPS складається з налагоджувальної плати та приймача сигналу. Модуль визначає власні координати шляхом обчислення часу затримки отриманого від супутника сигналу. Модулі GPS відрізняються між собою чутливістю сигналу від супутника, частотою виміру координат та їх точністю. Похибка обчислення координат виникає через неточність годинника приймача, що не дає точно визначити затримку сигналу. Одним із способів зменшити похибку є математично обчислити похибку годинника приймача, отримавши сигнал відразу від мінімум чотирьох супутників. Для системи було обрано модуль ublox NEO-6M [19].



Рисунок 4.8 – Модуль ublox NEO-6M [20]

Гіродатчик – це пристрій, що реагує на зміну кутів орієнтації тіла у просторі відносно інерційної системи, тобто за допомогою цього давача можна фіксувати будь-які зміни положення робота такі, як: поворот навколо своєї осі, зміна кута нахилу до горизонту. Такий давач відіграє важливу роль у підсистемах навігації та дослідження простору. Для даної системи було обрано трьохосьовий цифровий гіроскоп L3G4200D [21]. Гіродатчик зображено на рисунку 4.9.

ротором є великий крок повороту.

Гібридні крокові двигуни поєднують найкращі сторони реактивних двигунів та двигунів з постійними магнітами. Завдяки конструктивним особливостям ротора та статора, гібридні крокові двигуни мають набагато менший кут повороту за один крок.

Оскільки у даній системі кроковий двигун використовується для повороту камер навколо вертикальної осі робота, що забезпечує ефективне сканування навколишнього простору при переміщенні робота, доцільним буде обрати кроковий двигун з мінімальним кроком, що забезпечить плавність повороту камер. Тому було обрано гібридний кроковий двигун NT42STH [23].



Рисунок 4.10 – кроковий двигун NT42STH [24]

Кут кроку даного двигуна складає 0.9° . Двигун має низьке споживання електроенергії, діапазон робочих температур від -20°C до 50°C , номінальну напругу 12 В та вагу у 240 г, що задовольняє усім вимогам системи. Зовнішній вигляд двигуна представлений на рисунку 4.10.

Драйвер крокового виконує роль регулятора у керуванні кроковим двигуном. Задача драйвера формувати струм у обмотках двигуна в залежності від керуючого сигналу, та забезпечувати ефективність перехідних процесів при керуванні кроковим двигуном. За типом драйвери крокових двигунів поділяються на:

- драйвери постійної напруги;

- дворівневі драйвери;
- драйвери з ШІМ.

Драйвери постійної напруги подають постійний рівень напруги по черзі на обмотки, результуючий струм залежить від опору обмотки, а на високих швидкостях – і від індуктивності. Ці драйвери вкрай неефективні, і можуть бути використані тільки на дуже малих швидкостях.

Дворівневі драйвери підіймають струм у обмотці спершу подавши на неї високий рівень напруги, а потім підтримують його джерелом малої напруги. Такі драйвери доволі ефективні, але підтримують лише кроковий та напівкроковий режими.

Драйвери з ШІМ подають на обмотку ШІМ сигнал високої напруги та відсікають його коли рівень струму досягає необхідного рівня. Такі драйвери доволі інтелектуальні та підтримують різне ділення кроку, що дозволяє забезпечити більшу дискретизацію та плавність оберту.

З огляду на це у систему було обрано ШІМ драйвер крокового двигуна ТВ6600 [25]. Драйвер зображено на рисунку 4.11.



Рисунок 4.11 – Драйвер крокового двигуна ТВ6600 [26]

Драйвер підтримує ділення мікрокроку 1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32. Драйвер оснащено радіатором для відводу тепла, що захищає мікросхему від перегріву.

Двигуни постійного струму у системі виконують роль рушійних двигунів робота. Два двигуни дозволяють роботу рухатися вперед, назад та здійснювати повороти. Колекторний двигун постійного струму має обмотку на роторі і постійний магніт на статорі. Обмотка ротора складається з декількох сегментів, які підключені до пластин колектора. Щітки, що переміщаються по колектору, забезпечують передачу електричного струму між статором і ротором, а також перемикають сегменти обмотки при обертанні ротора. Струм, що протікає по обмотці ротора, взаємодіє з магнітним полем постійних магнітів, створюючи крутний момент, який повертає ротор. При обертанні ротора сегменти колектора перемикаються, дозволяючи току протікати через інші ділянки обмотки. Струм, що протікає через секції обмотки ротора, створює крутний момент.

Колекторні двигуни постійного струму мають невисоку ціну, прості у керуванні та створюють високий початковий крутний момент. Такі двигуни живляться від джерел постійного струму, що дозволяє жити їм від автономного акумулятора. Тому для даної системи було обрано двигун maxon DCX 32 L [27].



Рисунок 4.12 – Двигун maxon DCX 32 L [28]

					IA62.300BAK.002 ПЗ	Лист
						28
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Двигун потребує 18В живлення та має потужність 80 Ватт. Габарити та вага повністю задовольняють усім вимогам системи. Двигун зображено на рисунку 4.12.

Драйвер ДПС – це електронний пристрій, що дозволяє системі керувати двигунами. Драйвер виступає проміжним пристроєм між мікроконтролером, джерелом живлення та двигунами. Мікроконтролер приймає рішення щодо швидкості та напрямку обертів двигунів, але не може керувати ними напряму через обмеження струму та напруги на його виходах. Тому мікроконтролер передає керуючий сигнал на вхід драйвера, який вже передає необхідний струм та напругу на обмотку двигунів. Для керування двигунами було обрано драйвер L298N [29], який зображено на рисунку 4.13.

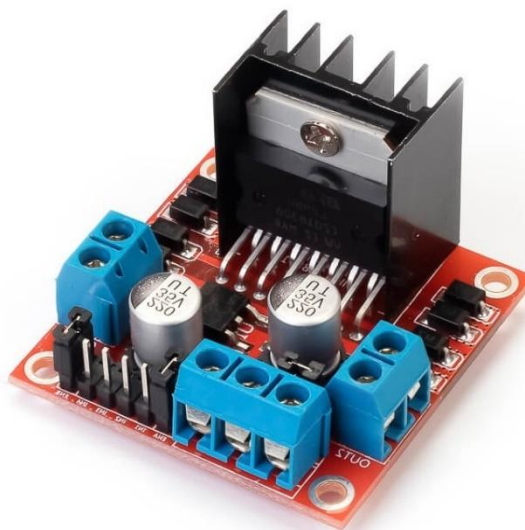


Рисунок 4.13 – Драйвер ДПС L298N [30]

Драйвер дозволяє керувати двома двигунами, змінювати напрямки їх руху та регулювати їх швидкість. Драйвер підтримує напругу живлення до 46В та силу струму до 4А.

Ультразвуковий давач відстані у системі виявляє перешкоди перед

роботом та відстань до них. Його робота заснована на принципі сонара – генеруючи ультразвукову хвилю та фіксуючи її відображення з певною затримкою, давач виявляє об’єкти та обчислює відстань до них. Ультразвукові сигнали відбиваються від перешкод та повертаються до давача через певний проміжок часу. Саме це проміжок часу є характеристикою завдяки якій визначається відстань до перешкоди. Порівняно з інфрачервоними аналогами, на ультразвукові давачі не впливають електромагнітні шуми, що надходять від великої кількості пристроїв та сонця. Для системи було обрано давач US-025 [31].



Рисунок 4.14 – Ультразвуковий давач відстані US-025 [32]

Діапазон дальності вимірів давача складає 2-600 см, кут огляду 30°, похибка вимірів складає 0.1 см. Напруга живлення – 3-5 В, робочий струм 5.3 мА. На рисунку 4.14 показано зовнішній вигляд давача.

У якості інфрачервоного давача перепаду висоти використовується інфрачервоний давач відстані. Направлений униз давач буде сповіщати систему про відстань від давача до поверхні землі перед роботом. Таким чином система завчасно матиме інформацію про перепад висоти поверхні, якою рухається робот, що допоможе попередити робота про можливе падіння, якщо перепад занадто великий.

Відстань до поверхні давач визначає за допомогою тріангуляції.

Електромагнітний імпульс з довжиною хвилі у інфрачервоній області спектра випромінюється та відбивається від поверхні. Кут падіння відбитої хвилі залежить від відстані до поверхні. Давач виявляє відбитий промінь та визначає кут відбивання, з якого вже можна обчислити відстань до об'єкта. Для даного робота було обрано E18-D80NK [33]. Давач вимірює відстань у діапазоні 3-80 см.



Рисунок 4.15 – Давач перепаду висоти [34]

За допомогою абсолютного магнітного давача кута повороту система визначає вихідні параметри роботи рушійних двигунів постійного струму. Принцип роботи давачів кута повороту було описано у розділі 4.6, де йшлося про давач кута повороту крокового двигуна. Давачі кута повороту ДПС на виході формують сигнал про кут повороту двигунів ДПС, з яких система може обраховувати швидкість їх обертання. Такі давачі важливі для точності керування ДПС тому, що забезпечують зворотній зв'язок. У даній системі давачами кута повороту двигунів постійного струму було обрано RDE58S10 [35].



Рисунок 4.16 – Давач кута повороту ДПС [36]

4.1 Висновки до розділу

У даному розділі були розглянуті вибір та обґрунтування окремих пристроїв системи, їх характеристики та принципи роботи, проведено порівняльний аналіз та обрані пристрої, що повністю задовольняють вимогам системи. Основним принципом підбору елементів був вибір пристроїв, що найкраще підходять для роботи в умовах, у яких планується робота системи, та забезпечать надійну роботу протягом тривалого часу.

					ІА62.300БАК.002 ПЗ	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		32

5 МОДЕЛЮВАННЯ РУХОВОЇ ПІДСИСТЕМИ РОБОТА

Рухова підсистема забезпечує переміщення системи у просторі. Підсистема складається з двох двигунів постійного струму та драйвера, керування якими виконується головним обчислювальним пристроєм. Обчислювальний пристрій надсилає керуючий ШІМ сигнал на вхід драйвера, який керує напругою двигунів. Від датчиків кута повороту двигунів обчислювальний пристрій отримує вихідні дані роботи двигунів, що дає змогу забезпечити керування частотою їх обертів. У даному розділі буде розроблена модель процесу керування двигунами постійного струму за допомогою засобів MATLAB/Simulink.

5.1 Розрахунок навантаження та характеристик рухових двигунів

Для забезпечення руху робота з певною швидкістю та прискоренням при навантаженні, що створюється масою робота, характеристики ДПС мають задовольняти мінімальним вимогам до показників крутного моменту та потужності. Оптимальними показниками для системи будуть максимальна швидкість 1.5 м/с та прискорення 2 м/с².

Крутний момент, необхідний для переміщення робота та розвинення ним прискорення, для досягнення максимальної швидкості обчислюється за формулою

$$M = J\alpha, \quad (5.1.1)$$

де J – момент інерції, α – кутове прискорення, які в свою чергу обраховуються за формулами

$$J = \frac{mgr^2}{2}, \quad (5.1.2)$$

$$\alpha = \frac{a}{r}. \quad (5.1.3)$$

Підставивши (5.1.2) та (5.1.3) у (5.1.1), випливає

$$M = \frac{mgra}{2}, \quad (5.1.4)$$

де $m = 5$ кг – маса робота, $g = 9.81$ м/с² – прискорення вільного падіння, $r = 0.15$ м – радіус колеса, $a = 2$ м/с² – прискорення робота. З цієї формули отримуємо, що $M = 7.35$ Нм. Для зниження необхідного крутного моменту було застосовано редуктори. Основною функцією редуктора є зниження необхідного зусилля. Головною характеристикою редуктора є передатне число, яке є відношенням частоти обертання вхідного валу до частоти обертання вихідного валу. Чим більше передатне число, тим менше необхідне зусилля. Для даної системи було обрано редуктори з передатним числом 40. Отже оскільки навантаження рівномірно розподілено між двома двигунами та колеса з'єднані з двигунами через редуктор, необхідний крутний момент знижено до $7.35/(2 \cdot 40) = 92$ мНм.

Необхідна потужність пропорційна крутному моменту та кутовій частоті обертання двигунів при максимальній швидкості

$$P = M\omega, \quad (5.1.5)$$

де M – крутний момент двигуна, а ω розраховується за формулою

$$\omega = 2\pi\nu = 2\pi \frac{V}{0.025\pi r} = \frac{2V}{0.025r} = 800 \text{ рад/с} \quad (5.1.6)$$

де V – максимальна швидкість, якої буде сягати робот, r – радіус колеса. Підставивши обраховані значення у (5.1.5), отримаємо необхідну сумарну потужність двигунів, що дорівнює 147.2 Вт. Враховуючи, що двигунів два та навантаження між ними розподілено рівномірно, потужність кожного двигуна дорівнює половині від отриманого значення, а саме 73.6 Вт.

Виходячи з розрахованих параметрів, обираємо двигун, що задовольняє вимогам. Таким двигуном є maxon DCX 32 L. ДПС має потужність 80 Вт та крутний момент 101 мНм.

5.2 Розроблення моделі рушійних двигунів

Для моделювання ДПС було використано блок DC Machine бібліотеки Simscape. Блок має клеми для подачі напруги, вхід TL, на який подається момент навантаження, що діє на двигун, та вихід m, з якого можна отримати вихідні параметри роботи двигуна.

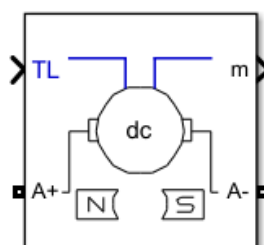


Рисунок 5.3.1 – блок DC Machine

Механічна частина блоку реалізує рівняння

$$J \frac{d\omega}{dt} = T_E - T_L, \quad (5.2.1)$$

де J – момент інерції, ω – кутова швидкість, T_E – крутний момент, що створює двигун, T_L – момент навантаження. Крутний момент двигуна

розраховується за формулою

$$T_E = K_T I_a, \quad (5.2.2)$$

де K_T – постійна крутного моменту, що задається у параметрах блоку, I_a – електричний струм якоря. Струм якоря у свою чергу залежить від вхідної напруги, що подається на входи $A+$, $A-$, опору R_a та індуктивності L_a якоря.

Обраний двигун має такі параметри:

- номінальна напруга живлення – 18 В;
- опір якоря – 0.165 Ом;
- індуктивність якоря – 0.052 мГ;
- постійна крутного моменту – 19.5 мНм/А;
- момент інерції – $6 \cdot 10^{-4}$ Кг*м².

Для створення моделі двигуна потрібно також розрахувати крутний момент навантаження T_L . Він розраховується за формулою

$$T_L = F_{\text{тер}} r = \mu m g r \frac{1}{i}, \quad (5.2.3)$$

де $\mu = 0.5$ – коефіцієнт тертя гуми та асфальту, $m = 5$ кг – маса робота, $g = 9.81$ – прискорення вільного падіння, $r = 0.15$ – радіус колеса, $i = 40$ – передатне відношення редуктора. З (5.2.3) отримуємо, що $T_L = 92$ мНм, але враховуючи, що це сумарне навантаження на обидва двигуни, на вхід кожного блоку ДПС потрібно передати число удвічі менше, а саме 46 мНм.

Для перевірки правильності моделі сформуємо графік частоти обертів двигуна у часі при подачі на нього постійної напруги 18 В. Графік відображено на рисунку 5.2.1. На графіку видно, що двигун досягає необхідного нам значення у 800 рад/с приблизно через 0.55 секунд після подачі напруги. З заданим прискоренням 2 м/с² двигун мав би досягти цього значення через

$$t = \frac{V}{a} = \frac{1.5}{2} = 0.75 \text{ c}, \quad (5.2.4)$$

але оскільки двигун має вищий крутний момент та потужність за задані, результат моделювання відповідає очікуванням.

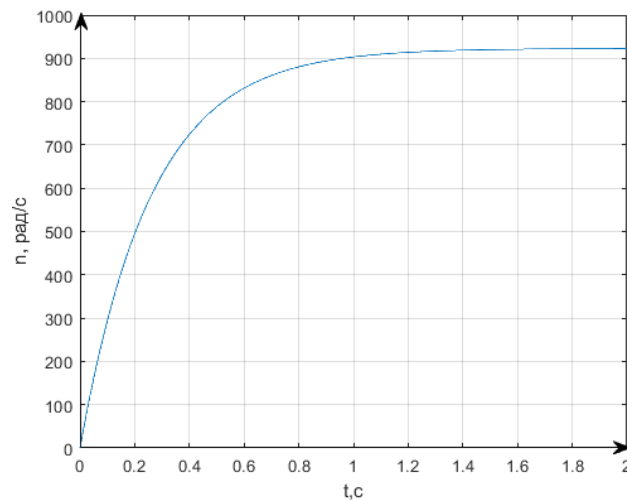


Рисунок 5.2.1 – вихідна характеристика роботи двигуна

5.3 Розроблення моделі драйвера

Оскільки обчислювальний прилад, що керує двигунами, не має виходів з достатнім рівнем напруги, напругу живлення на двигуни подає драйвер, до якого надходить керуючий сигнал з обчислювального приладу. Обраний для системи драйвер L298N складається з двох Н-мостів, що дозволяє використати один драйвер для керування обома ДПС. Блок драйвера зображено на рисунку 5.3.1.

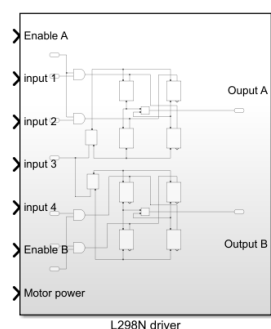


Рисунок 5.3.1 – блок драйвера

Блок має два входи Enable, що керують подачею напруги на виходах Output, вхід Motor power, до якого підключається напруга живлення, та чотири входи input, для керування полярністю вихідної напруги. Внутрішня структура блоку зображена на рисунку 5.3.2.

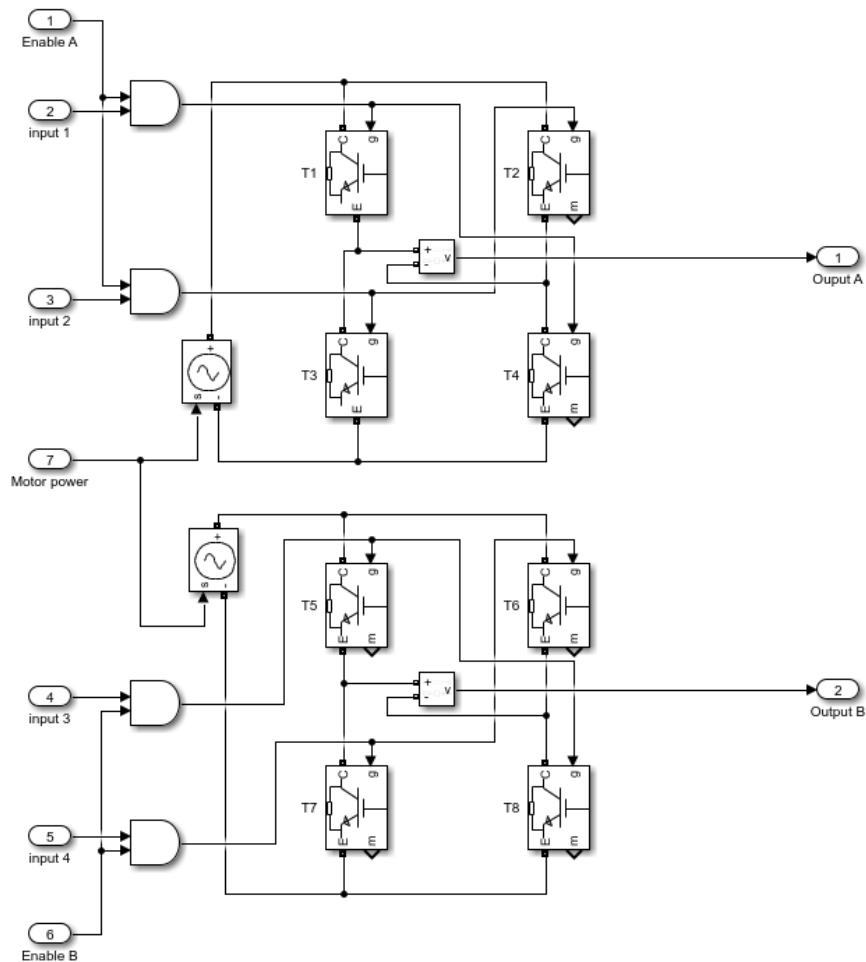


Рис 5.3.2 – внутрішня структура блоку драйвера

Розглянемо принцип роботи Н-мосту у верхній частині схеми. Вхід input 1 керує транзисторами T1 та T4, input 2 – транзисторами T2 та T3. Доки на вході Enable A не подати логічну 1, усі транзистори мосту будуть закриті і на виході Output A напруга буде 0. На входи input 1 та 2 також подаються логічні 1 або 0, причому вони мають бути протилежні, адже якщо відкрити усі транзистори, вихідна напруга все одно буде 0. Якщо подати 1 на входи Enable A та input 1, то відкриваються транзистори T1 та T4, та на виході Output A сформується напруга,

що подається до входу Motor power. Якщо ж подати 1 до Enable A та Input 2, то на виході Output A сформується напруга протилежної полярності. Таким чином драйвер дозволяє вмикати реверс двигуна.

Для перевірки правильності роботи моделі на проміжку часу від 0 до 1 секунди сформуємо 1 на входах Enable A та Input 1, а на проміжку часу від 1 до 2 секунди сформуємо логічну 1 на входах Enable A та Input 2.

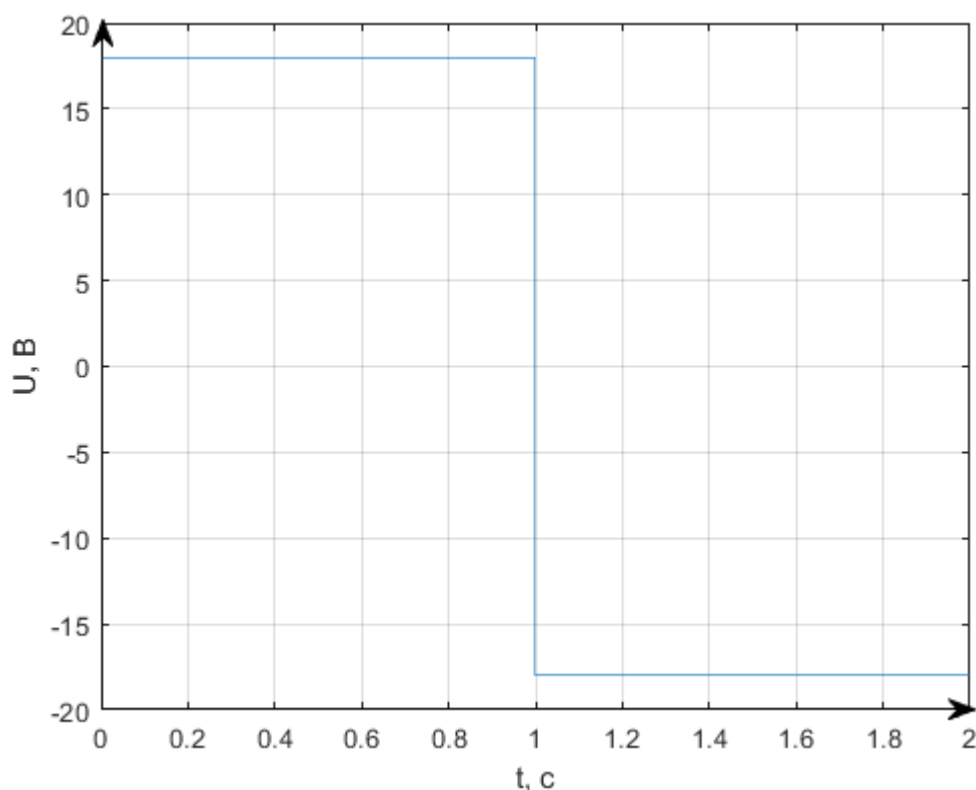


Рисунок 5.3.3 – Результати моделювання драйвера ДПС

Результати моделювання зображено на рисунку 5.3.3. Як видно на графіку, у момент часу 1с полярність напруги на виході змінилась на протилежну, а отже модель працює правильно.

5.4 Розроблення моделі системи керування

Для керування частотою обертів ДПС обрано САУ з керуванням за

відхиленням. Функціональна схема такої САУ зображена на рисунку 5.4.1. Відхилення $E(t)$ отримується шляхом віднімання вихідної величини $Y(t)$, що отримується за допомогою зворотного зв'язку, від задаючого впливу $X(t)$, що подається на вхід системи. В залежності від величини відхилення $E(t)$ регулятор генерує керуючий сигнал $U(t)$.

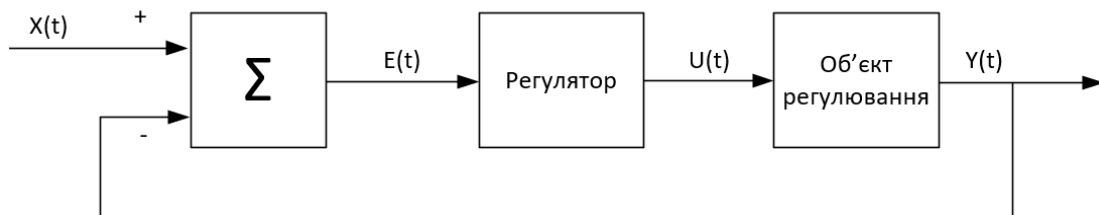


Рисунок 5.4.1 – САУ з керуванням за відхиленням

Сигнал задавача у моделі генерується за допомогою блоку Signal Builder, та являє собою бажану величину частоти обертів ДПС. Вихід блоку з'єднаний з суматором, на який також надходить поточна величина частоти двигуна. Величина відхилення, отримана на суматорі, подається на вхід блоку ПІД регулятора. Вихід регулятора генерує сигнал у проміжку $[-1;1]$. Модуль вихідного значення інтерпретується генератором ШІМ сигналу як значення скважності, а його знак – як напрямок обертів двигуна. Модель системи керування зображена на рисунку 5.4.2.

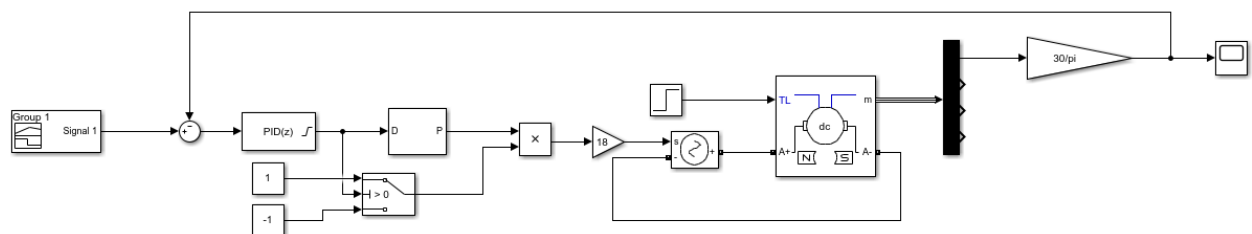


Рисунок 5.4.2 – Модель системи керування двигуном

Після запуску системи було отримано результати, зображені на рисунку 5.4.2. На рисунку зображено два графіки залежності частоти обертів від часу. А)

– сигнал задавача, б) – вихідне значення частоти обертання ДПС. Поточний перехідний процес має велике значення перерегулювання – 12.5% та часу встановлення – 2.15 с.

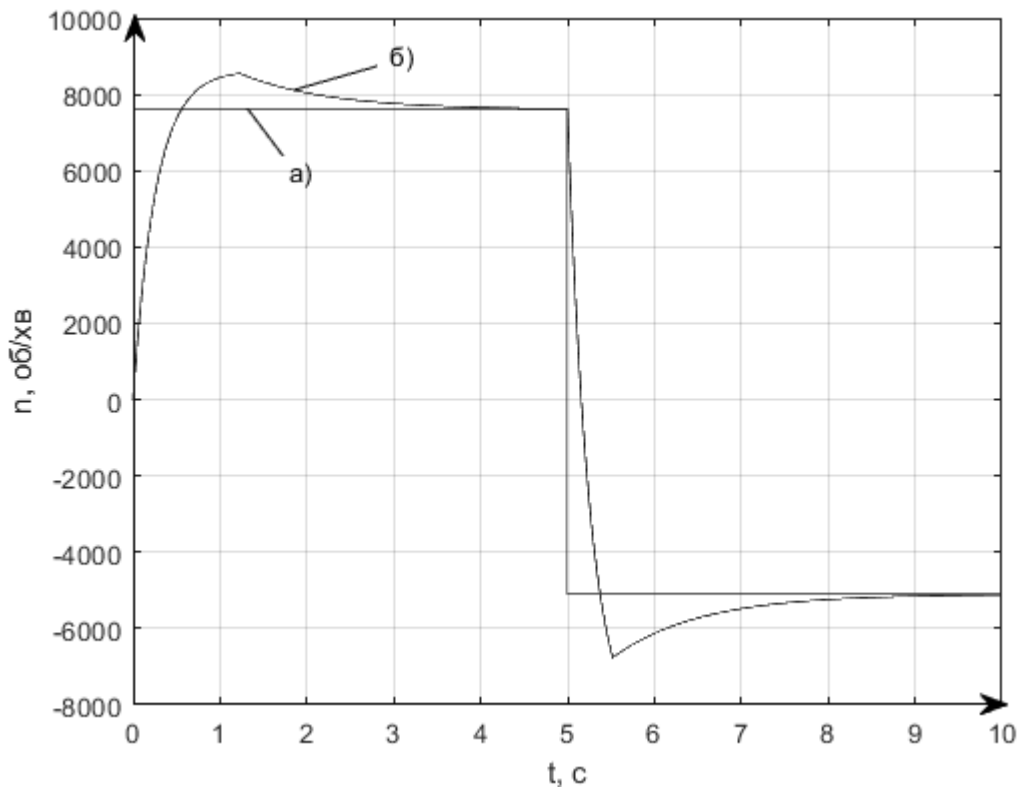


Рисунок 5.4.2 – Результати моделювання системи керування

Для покращення перехідного процесу потрібно розрахувати коефіцієнти ПІД регулятора. Для цього було застосовано можливості налаштування блоку PID, який надає можливість отримати значення коефіцієнтів за бажаними характеристиками перехідного процесу. Вікно налаштування зображено на рисунку 5.4.3. За допомогою повзунків у верхній частині вікна можна змінювати величину часу встановлення та згладжування похибки. Штрихованою лінією показано поточний перехідний процес, а суцільною той, що має регулятор, який ми синтезуємо. Отримавши бажаний перехідний процес та оновивши коефіцієнти блоку ПІД регулятора було проведено повторне моделювання. Його результати зображено на рисунку 5.4.4. З результатів моделювання видно, що

було значно зменшено час встановлення – 0.6 с, та величину перерегулювання – 0.3%. Це дозволить роботу рухатись більш плавно, та з більшою точністю керувати швидкістю обертів двигунів постійного струму.

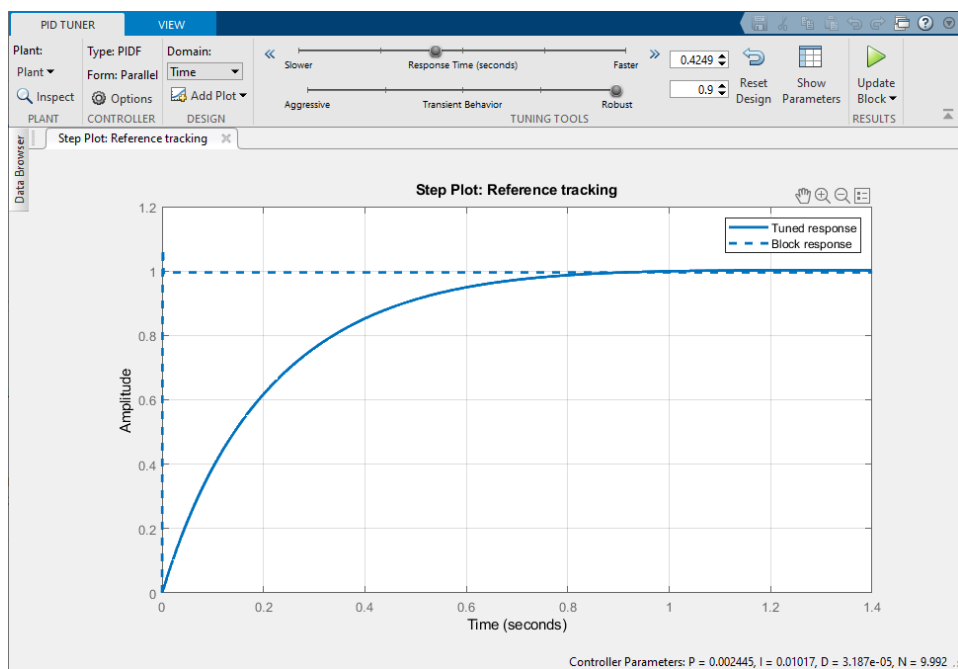


Рисунок 5.4.3 – Вікно налаштування ПІД-регулятора

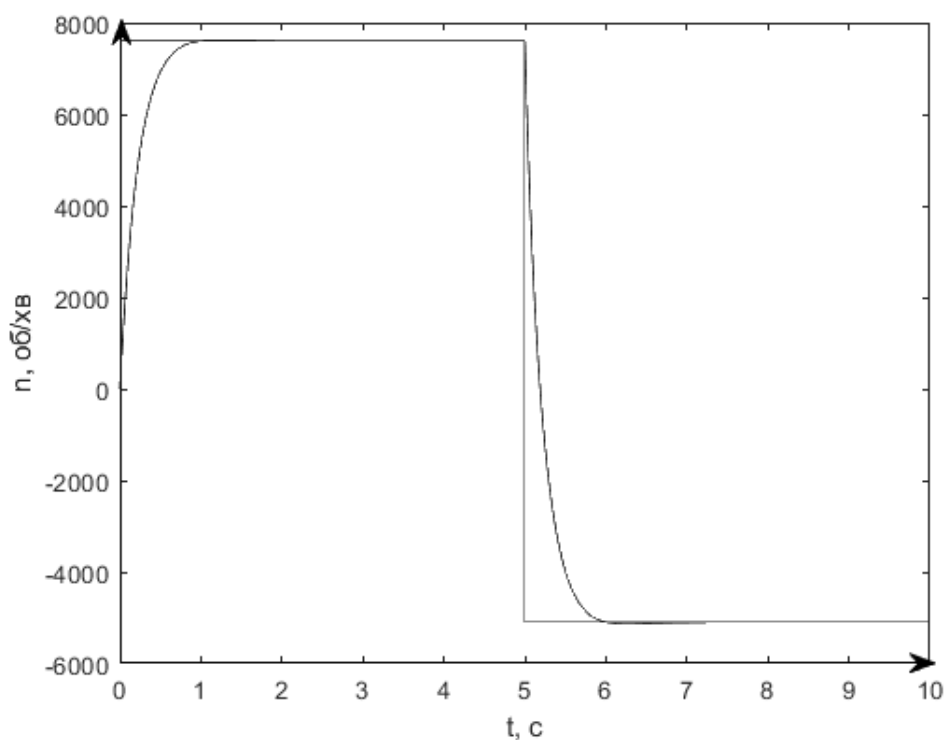


Рисунок 5.4.4 – Результати моделювання після синтезу ПІД-регулятора

5.5 Розроблення моделі відображення траєкторії руху робота

Задача моделювання полягає у відображенні траєкторії руху системи на двомірній координатній площині на основі вхідних даних частоти обертання рухових двигунів постійного струму. Для цього потрібно розраховувати зміну положення робота відносно двох осей координат.

При вмиканні лише одного з двигунів системи, рухоме колесо починає описувати коло з центром у точці дотику до поверхні нерухомого колеса, як показано на рисунку (5.5.1). На рисунку зображено вид зверху, штрихованою лінією показано траєкторію руху правого колеса, R – радіус описуваного кола, що дорівнює відстані між колесами робота, r – радіус коліс.

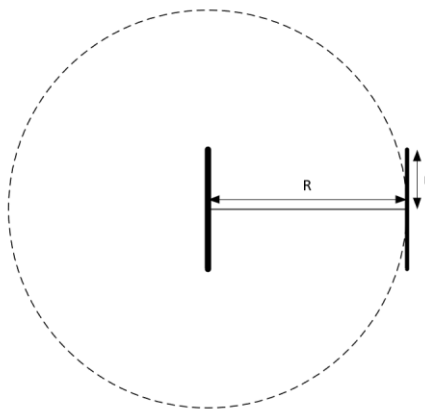


Рисунок 5.5.1 – траєкторія руху робота при вмиканні одного двигуна

Таким чином кут повороту можна визначити як відношення пройденого правим колесом шляху до довжини кола, та обчислити за формулою 5.5.1.

$$\alpha = 2\pi \frac{l}{L}, \quad (5.5.1)$$

де α – кут повороту, l – пройдений колесом шлях, L – довжина кола. У свою чергу довжину кола, та подоланий колесом шлях можна обчислити за формулами

$$l = 2\pi r v, \quad (5.5.2)$$

$$L = 2\pi R, \quad (5.5.3)$$

де v – це частота обертання рухомого колеса у герцах. Підставивши 5.5.2 та 5.5.3 у 5.5.1, отримано формулу

$$\alpha = 2\pi \frac{rv}{R}. \quad (5.5.4)$$

Отриману формулу можна узагальнити і для зміни напрямку руху, коли обертаються обидва колеса, але з різною частотою. На кут повороту впливає різниця частоти обертання коліс, а на швидкість руху спільна складова, тобто частота повільнішого колеса. Таким чином отримуємо формули розрахунку кута повороту та швидкості

$$\alpha = 2\pi \frac{r(v_{\text{п}} - v_{\text{л}})}{R}, \quad (5.5.5)$$

$$V = 2\pi r v_{\text{min}}. \quad (5.5.6)$$

Для визначення напрямку руху та переміщення робота потрібно інтегрувати величину кута повороту та швидкості. Оскільки на графіку відображається переміщення робота відносно двох осей координат, потрібно визначити проекції вектора переміщення на осі x та y . Їх визначено за формулами

$$x = V \cos(\alpha), \quad (5.5.7)$$

$$y = V \sin(\alpha). \quad (5.5.8)$$

Відображаючи на графіку динаміку зміни інтегральної суми цих величин у часі, отримано траєкторію руху робота. Отже модель можна описати трьома рівняннями

$$\alpha = \int 2\pi \frac{r}{R} (v_{\Pi} - v_{\text{л}}) dt, \quad (5.5.9)$$

$$x = \int 2\pi r \cos(\alpha) v_{\min} dt, \quad (5.5.10)$$

$$y = \int 2\pi r \sin(\alpha) v_{\min} dt. \quad (5.5.11)$$

На основі цих рівнянь було створено модель у пакеті MATLAB/Simulink, схема якої зображена на рисунку 5.5.2. На вхід подаються частота обертання правого та лівого колеса у герцах. За формулами (5.5.9)-(5.5.11) обчислюється зміна координат робота, та подається на вхід блоку XY Graph.

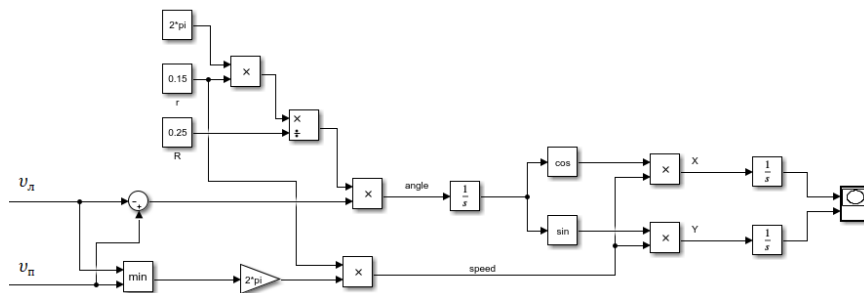


Рисунок 5.5.2 – схема моделі відображення траєкторії руху робота

Для перевірки правильності роботи моделі було проведено моделювання зі сталими вхідними значеннями частоти обертання двигунів 6000 та 7000 об/хв. Результат моделювання зображено на рисунку 5.5.3.

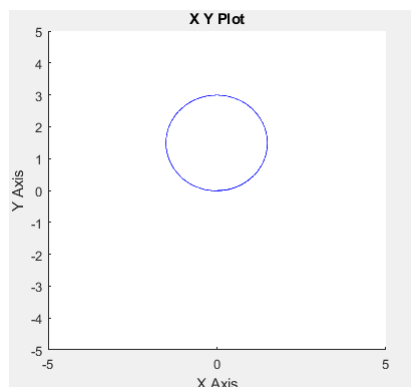


Рисунок 5.5.3 – Результати моделювання траєкторії руху робота

5.6 Результати моделювання

Схема моделі рухової підсистеми робота у пакеті MATLAB/Simulink зображена на рисунку 5.6.1. Більш детально модель відображена на кресленику ІА62.300БАК.005 Д1. Модель дозволяє досліджувати динаміку роботи рухових двигунів постійного струму та вплив на них керуючого сигналу. Модель дозволяє спостерігати такі характеристики роботи підсистеми:

- частоту обертання ДПС;
- струм якоря ДПС;
- крутний момент ДПС;
- графік залежності частоти обертів двигунів від крутного моменту;
- траєкторію руху робота.

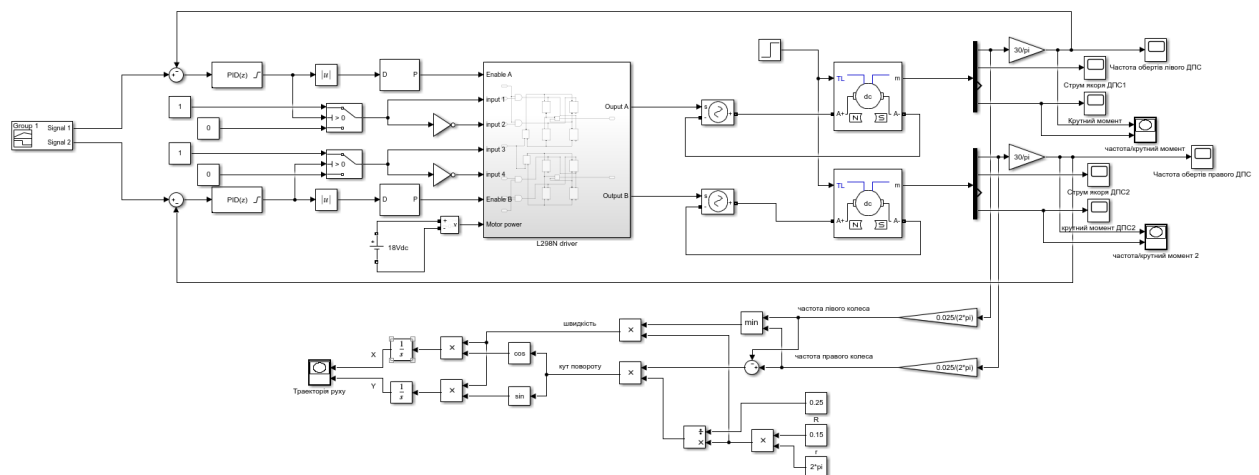


Рисунок 5.6.1 – Схема моделі рухової підсистеми

Для демонстрації роботи моделі у блоці Signal Builder задано керуючі сигнали для двох ДПС, які зображено на рисунку 5.6.2. Керуючий сигнал задає частоту обертів кожного з рухових двигунів постійного струму. Дані сигнали можна інтерпретувати як команди у такі послідовності:

- 1) рух вперед протягом 5 секунд з частотою двигунів 7600 об/хв;
- 2) рух назад протягом 2 секунд з частотою 5100 об/хв;

- 3) повна зупинка протягом секунди;
- 4) поворот ліворуч;
- 5) зупинка протягом секунди;
- 6) рух вперед протягом 4 секунд з частотою 7600 об/хв.

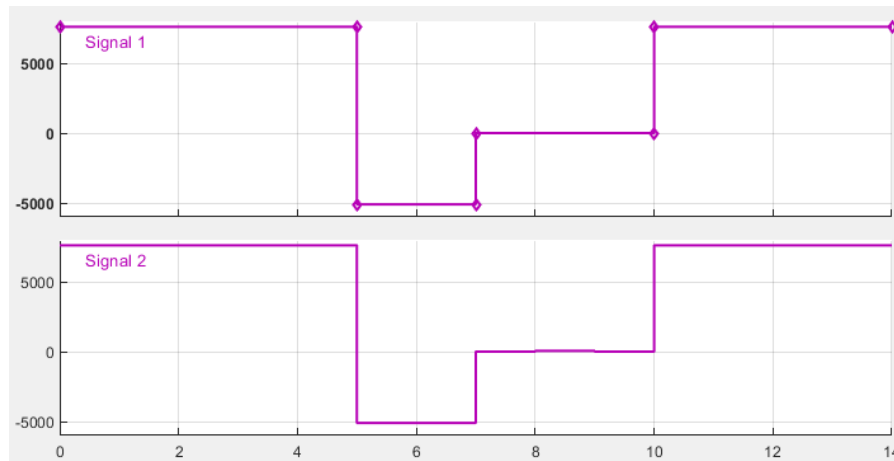


Рисунок 5.6.2 – Керуючий сигнал

Запустивши модуляцію, було отримано вихідні характеристики роботи підсистеми. На рисунку 5.6.3 зображено графіки частоти обертів Обоих ДПС.

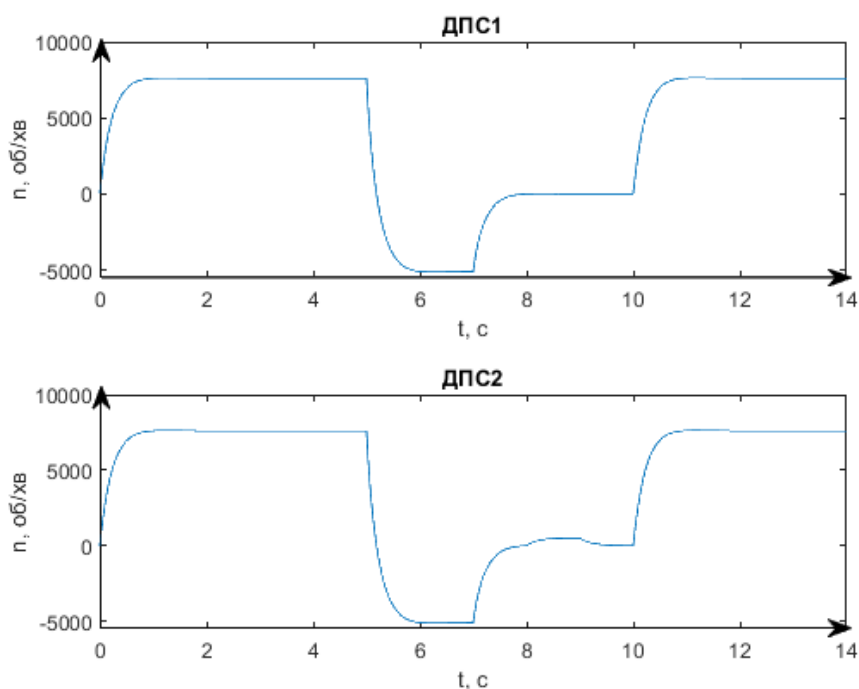


Рисунок 5.6.3 – Графік частоти обертання ДПС

На верхньому графіку відображено характеристику лівого двигуна, на нижній – правого. Графіки майже ідентичні, окрім області від восьмої до десятої секунди, коли робот повертає. Для повороту система вмикає лише один двигун, чи збільшує частоту обертів одного з двигунів. Різниця частоти обертів двигунів забезпечує кривизну траєкторії руху робота. Чим більша різниця частоти обертання двигунів, тим менший радіус повороту.

На рисунку 5.6.4 зображено графік частоти обертів правого двигуна та його крутного моменту. По осі абсцис відображено частоту обертання у об/хв, а по осі ординат – крутний момент двигуна у Нм.

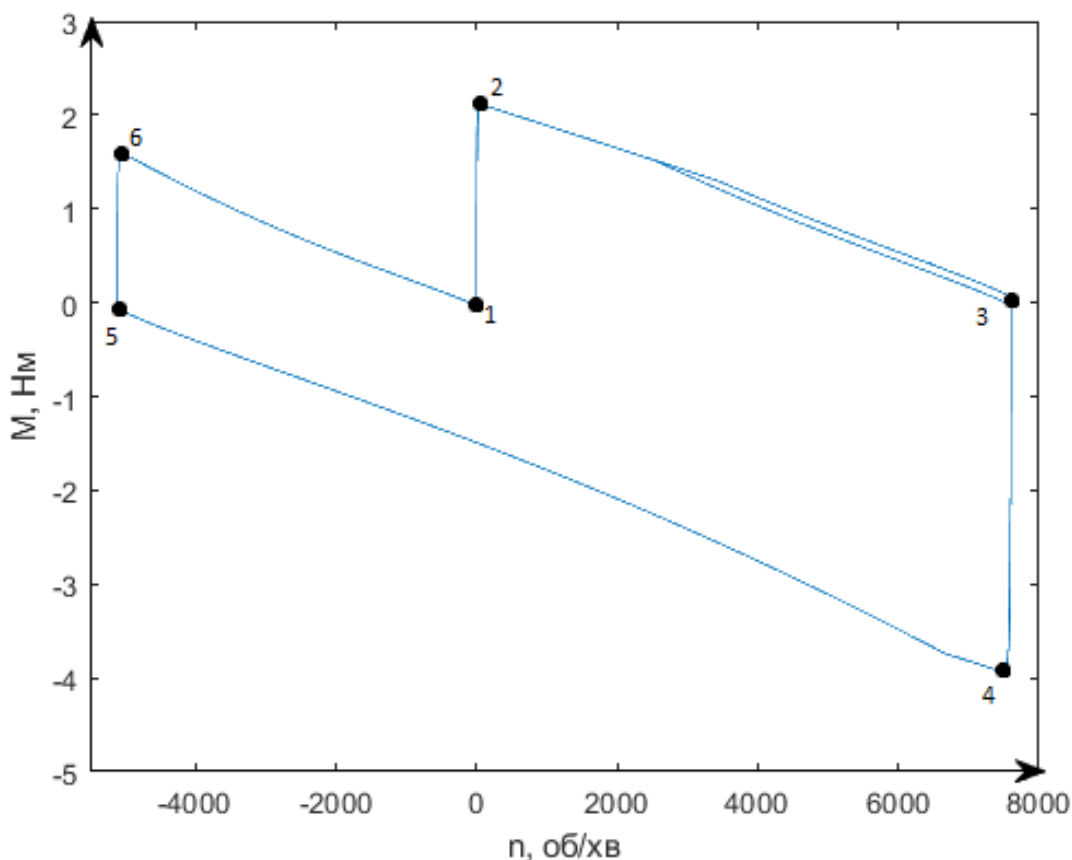


Рисунок 5.6.4 – Графік залежності частоти обертів від крутного моменту

Відрізок 1, 2 відповідає процесу наростання крутного моменту після запуску двигуна. У точці 2 крутний момент досягає максимального значення, після чого частота обертання двигуна починає різко збільшуватись, а крутний

момент повільно зменшуватись до значення, необхідного для підтримки необхідного значення частоти. Після надходження керуючого сигналу для встановлення частоти обертання двигуна -5100 об/хв, вмикається реверс двигуна та модуль крутного моменту збільшується, але у від'ємному напрямку, що відображено на відрізку 3, 4. У точці 5 частота досягає необхідного значення. Коли надходить сигнал зупинки, крутний момент знову збільшується, та повільно зменшується до зупинки двигуна. У момент повороту двигуна, крутний момент знову збільшується, але оскільки частота двигуна мала, при даному масштабі графіку це непомітно.

На рисунку 5.6.5 відображена траєкторія руху робота. Як видно з рисунку, робот точно повторює задану послідовність дій, що свідчить про правильність виконання моделі.

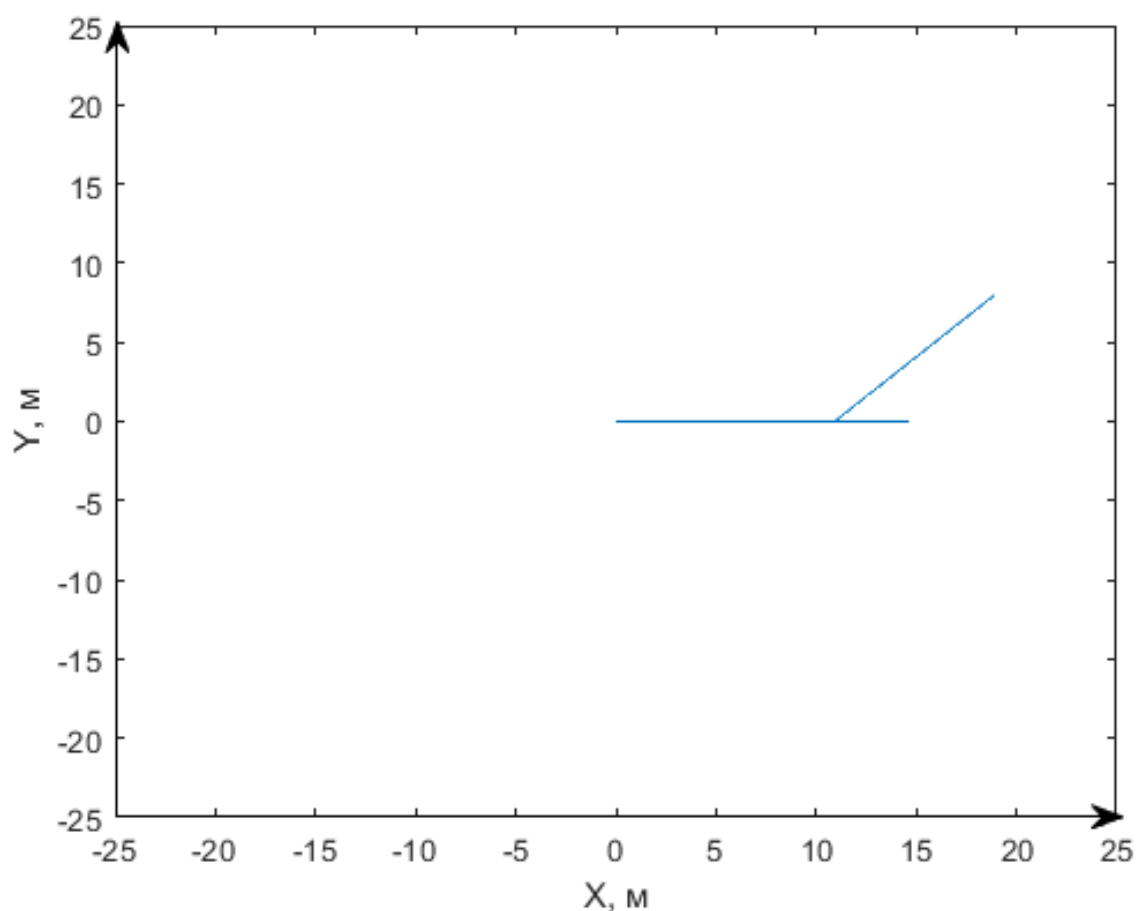


Рисунок 5.6.5 – Траєкторія руху робота

5.7 Висновки до розділу

У даному розділі була розроблена математична модель рухової підсистеми робота, розглянуті аспекти роботи двигунів постійного струму та засоби керування ними. Розробка моделі дозволяє уникнути багатьох помилок при проектуванні систем, виявляючи їх ще до фізичної реалізації проекту. Розроблена модель дозволяє вивчати динаміку руху робота та характеристики перехідних процесів що протікають у виконавчих елементах системи. З результатів моделювання можна свідчити, що були правильно розраховані характеристики елементів системи, які присутні для забезпечення переміщення роботизованої системи у просторі.

					ІА62.300БАК.002 ПЗ	Лист
						50
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

6 РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ДЕТЕКЦІЇ ОБ'ЄКТІВ

Задачею підсистеми є виявлення громадян, що не вдягнені у засоби особистого захисту, такі як маска чи респіратор та попередження їх за допомогою усного повідомлення. Для цього підсистема має містити засоби інтелектуального аналізу зображень. У цьому розділі буде розглянуто існуючі засоби інтелектуального аналізу зображень та впроваджено один із них для реалізації функціоналу роботизованої системи.

На сьогоднішній день для задач класифікації зображень найчастіше використовуються згорткові нейронні мережі. Згорткова нейронна мережа отримує вхідну карту ознак: тривимірну матрицю, де розмір перших двох розмірів відповідає довжині та ширині зображень у пікселях. Розмір третього виміру - 3 (відповідає 3 каналам кольорового зображення: червоному, зеленому та синьому). Згорткова нейронна мережа містить стек модулів, кожен з яких виконує три операції:

- згортка;
- ReLU(Rectified Linear Unit – блок лінійного випрямлення);
- агрегування.

Згортка застосовує до ділянок вхідної карти ознак фільтри, отримуючи таким чином нову карту ознак, яка може мати інший розмір та глибину аніж вхідна карта. Фактично фільтри являють собою певні абстрактні шаблони (лінія, форма, тощо), застосовуючи їх до ділянки вхідної карти, отримується число, величина якого свідчить про ступінь наявності шаблону у ділянці карти. Під час згортки, фільтри (матриці того ж розміру, що і розмір ділянки) ефективно ковзають по сітці вхідної карти даних по горизонталі та вертикалі, по одному пікселю. Для кожної пари ділянка фільтр нейронна мережа виконує поелементне множення матриці фільтру та матриці ділянки, а потім підсумовує всі елементи отриманої матриці, щоб отримати єдине значення. Кожне з цих результуючих значень для кожної пари ділянок-фільтрів потім виводиться у об'єднану карту

ознак.

Під час навчання згорткова нейронна мережа обчислює оптимальні значення для матриць фільтра, що дозволяють отримувати значущі шаблони (текстури, краї, форми) з вхідної матриці. Зі збільшенням кількості фільтрів, застосованих до входу, збільшується і кількість ознак, які може розпізнати нейронна мережа. Однак, компроміс полягає в тому, що фільтри є основними «споживачами» ресурсів, тому час навчання також збільшується в міру додавання фільтрів. Тому інженери прагнуть будувати мережі, які використовують мінімальну кількість фільтрів, необхідних для точної класифікації зображень.

Після кожної операції згортки нейронна мережа застосовує перетворення блоку лінійного випрямлення (ReLU) до карти ознак, щоб ввести у модель нелінійність. Функція ReLU, $F(x) = \max(0, x)$, повертає x для всіх значень $x > 0$ і повертає 0 для всіх значень $x \leq 0$.

Після кроку лінійного випрямлення нейронна мережа виконує операцію агрегування, під час якої зменшує розмір отриманої після згортки матриці (для заощадження часу обробки), зберігаючи при цьому найважливішу інформацію про виявлені ознаки. Операція агрегування працює схожим зі згорткою чином. З отриманої після згортки матриці виділяються ділянки заданого розміру. З кожної ділянки максимальне значення потрапляє до нової вихідної матриці, всі інші значення втрачаються.

На виході згорткової нейронної мережі є один або більше повнозв'язних шарів, у яких нейрон кожного шару зв'язаний з кожним нейроном наступного шару. Їх задача класифікувати зображення на основі вихідної матриці ознак, отриманої з попередніх шарів. Останній шар містить функцію активації на виході якої формуються значення вірогідності від 0 до 1 для кожного класу, для якого мережа робить передбачення.

Типова структура згорткової нейронної мережі показано на рисунку 6.1.

					ІА62.300БАК.002 ПЗ	Лист
						52
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 6.1 – Структура згорткової нейронної мережі [37]

Таким чином згорткові нейронні мережі здатні класифікувати зображення на наявність на них тих чи інших об'єктів, але за умови, що на зображенні може бути декілька об'єктів різних класів, та для забезпечення дистанційного вимірювання температури, доцільніше не класифікувати зображення загалом, а знаходити на зображенні область, у якій зображено об'єкт певного класу. Така постановка задачі називається детекцією об'єктів.

6.1 Вибір алгоритму

На сьогоднішній день найпопулярнішими нейронними мережами для детекції об'єктів у режимі реального часу є:

- Faster R-CNN;
- SSD (single shot detector);
- YOLO (you only look once).

Faster R-CNN [38] – найшвидший детектор з сімейства R-CNN (region convolutional neural networks). Faster R-CNN поєднує у собі дві нейронні мережі: RPN (region proposal network) – для генерації областей для аналізу, та Fast R-CNN – для детекції у цих областях об'єктів. Детектор забезпечує високу точність та високу швидкість відносно інших представників даного сімейства.

SSD [39] використовує згорткову нейронну мережу на вхідному зображенні та обчислює карту ознак. Після цього використовується невелике згорткове ядро розміром 3 на 3 на отриманій карті ознак, щоб передбачити обмежувальні поля для вірогідність класифікації. Для того щоб формувати обмежувальні поля різного розміру, використовується декілька згорткових

шарів. Оскільки кожен шар генерує поля різного розміру, мережа може виявляти об'єкти різних розмірів.

YOLO [40] ділить кожне зображення на сітку $S \times S$, і кожна сітка передбачає N обмежувальних полів та ймовірність. Ймовірність відображає точність обмежувального поля та те, чи дійсно поле містить об'єкт (незалежно від класу). YOLO також прогнозує бал класифікації кожного поля для кожного класу під час тренування. Можна комбінувати обидва класи, щоб обчислити ймовірність наявності кожного класу в передбачуваному полі. Приклад роботи YOLO зображено на рисунку 6.1.1.

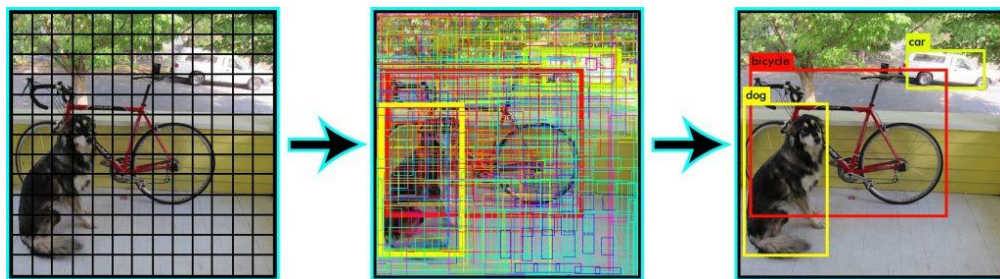


Рисунок 6.1.1 – Приклад роботи YOLO [41]

Діаграма порівняння алгоритмів за швидкістю та точністю показана на рисунку 6.1.2. З причин обмежених обчислювальних можливостей системи було у якості алгоритму було обрано YOLO.

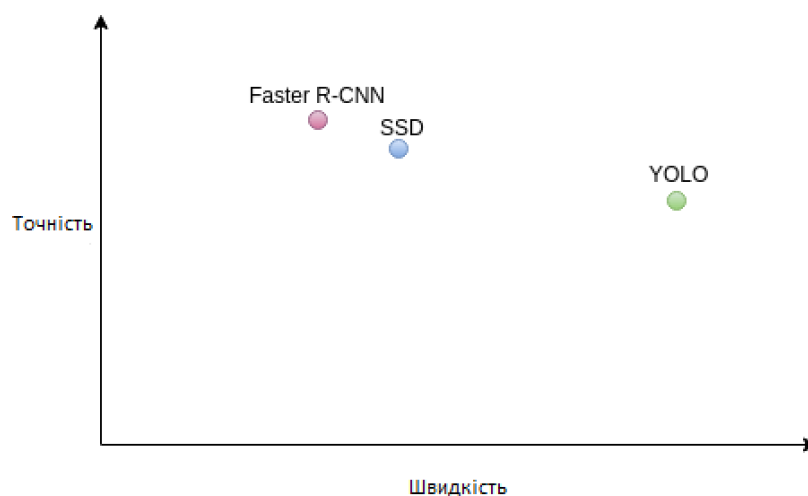


Рисунок 6.1.2 – Діаграма порівняння алгоритмів [42]

6.2 Тренування нейронної мережі

Для економії часу та обчислювальних ресурсів при тренуванні моделі було застосовано техніку «transfer learning» (трансферне навчання). У глибокому навчанні трансферне навчання – це техніка, за допомогою якої один або кілька шарів моделі нейронної мережі натренованої для вирішення проблеми, подібній до проблеми, яка вирішується, використовуються у новій моделі. Трансферне навчання надає перевагу скорочення часу навчання нейронної мережі і може призвести до меншої похибки. Ваги в повторно використаних шарах можуть використовуватися як вихідний пункт для тренувального процесу і адаптуватися до нової задачі. Таке використання розглядає трансферне навчання як тип схеми ініціалізації ваги. Це може бути корисно, коли схожа проблема має набагато більше мічених даних, ніж проблема, яка цікавить, і подібність у структурі проблеми може бути корисною в обох контекстах.

Тренування моделі було виконано за допомогою фреймворку darknet. Darknet – це відкрите програмне забезпечення створене мовою програмування C з підтримкою CUDA SDK, що дозволяє виконувати паралельні обчислення на базі графічних процесорів Nvidia. Призначенням фреймворку є тренування нейронної мережі YOLO. Фреймворк містить набір конфігураційних файлів, що дозволяє тренувати моделі з різною архітектурою. Програмне забезпечення також дозволяє завантажити натреновані моделі для подальшого тренування або тестування нейронної мережі.

Тренування моделі відбувалося на основі набору зображень [43], який містить фотографії людей у масках та без, та анотації до кожної фотографії, у яких містить детальний опис об'єктів на фотографії. Анотації до фотографій представлені у файлах формату xml, що складаються з заголовку, у якому міститься інформація про розмір зображення, та блоків опису об'єктів. Опис кожного об'єкту представлений у вигляді набору даних про назву класу об'єкту, координат лівого верхнього та правого нижнього кутів прямокутника, що

обмежує область розміщення об'єкта на фотографії. Для тренування нейронної мережі за допомогою фреймворку darknet потрібно представити опис кожної фотографії у вигляді текстового файлу, у кожному рядку якого вказується ідентифікатор класу об'єкта, координати центру об'єкта, висота та ширина ділянки зображення, де знаходить об'єкт. Оскільки тренувальні вибірка містить 852 фотографії, для генерації опису об'єктів було створено програму мовою python, яка представлена у додатку А.

Як початкові ваги для зготкових шарів нейронної мережі було використано ваги з натренованої моделі YOLO v4. Для тренування були задані такі параметри:

- кількість класів – 2;
- кількість фільтрів – 21;
- максимальна кількість ітерацій – 6000.

Дана мережа має детектувати об'єкти двох класів – обличчя людей, що в масках, та обличчя людей без масок. Кількість фільтрів зумовлюється кількістю класів та дорівнює $(n+5)*3$, де n – це кількість класів, та у даному випадку дорівнює 21. Параметр максимальної кількості ітерацій у даному випадку є стандартним значення, адже загалом для тренування мережі вистачає набагато менше ітерацій, кількість яких можна обмежити під час тренування, коли значення похибки досягне необхідного значення.

Після закінчення тренування отримано ваги моделі нейронної мережі які були отримані після кожної тисячі ітерацій. У ході тренування також обчислювалася величина середньої похибки детекції та відображалася на графіку зображеному на рисунку 6.2.1.

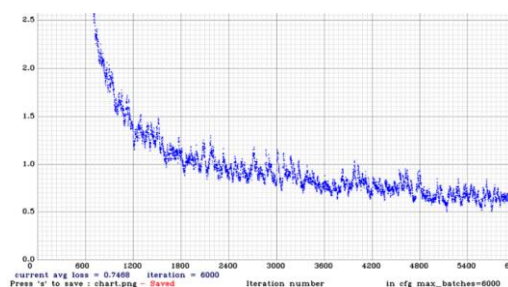


Рис. 6.2.1 – Значення похибки у ході тренування нейронної мережі

Для демонстрації роботи нейронної мережі, її було використано для детекції об'єктів на особистому фото. Результати роботи моделі показано на рисунку 6.2.2.

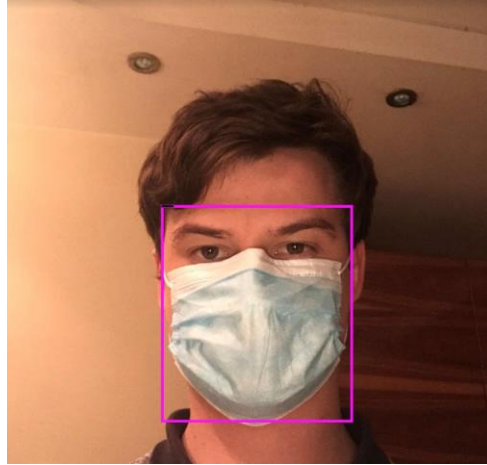


Рисунок 6.2.2 – Результат детекції об'єктів на фото

6.3 Розроблення програми

Програма призначення для обробки відеофайлів для детекції обличч людей, що в масках, та без них. Приймаючи вихідний файл, результатом роботи програми є новий відеофайл, на якому у рамку обведені виявлені об'єкти. Алгоритм роботи програми складається з послідовних дій:

- розбиття відеофайлу на кадри;
- обробка кожного кадру за допомогою нейронної мережі;
- додавання рамок виявлених об'єктів на кадри;
- формування нового відеофайлу з оброблених кадрів.

Для розбиття відеофайлу на кадри в програмі використано бібліотеку OpenCV. Бібліотека містить набір функцій, що дозволяють отримати вміст відеофайлу у вигляді об'єкта, з якого можна отримувати кадри за таймкодом.

Для обробки кадрів використана модель нейронної мережі, що описана у попередньому підрозділі. За допомогою бібліотеки darkflow модель імпортується у спеціальному вигляді для використання її за допомогою

бібліотеки tensorflow. Кожний кадр оброблюється нейронною мережею, на виході якої отримується інформація про кожний виявлений на фотографії об'єкт, а саме його клас, координати центру, ширина та висота.

Бібліотека OpenCV також включає у себе функції роботи з зображеннями, та дозволяє додавати на зображення текст та фігури різних форм. Маючи координати об'єктів, за допомогою функції rectangle(), програма додає рамки об'єктів різного кольору, в залежності від класу об'єкту. У верхньому лівому куті рамки також додається напис з назвою класу об'єкту та розрахована ймовірність приналежності об'єкту до класу.

З оброблених фотографій формується новий відеофайл, після чого зберігається у файловій системі. Лістинг програми представлений у додатку Б.

6.4 Висновки до розділу

У даному розділі була розроблена програма, що дозволяє оброблювати відеофайли, додаючи у них візуальну інформацію про виявлені нейронною мережею об'єкти. У розділі було розглянуто базові принципи роботи згорткових нейронних мереж та проведено огляд існуючих алгоритмів детекції об'єктів. Серед алгоритмів детекції найбільш підходящим виявився алгоритм YOLO, оскільки має найвищу швидкість та достатню для задачі системи точність.

ВИСНОВКИ

У даному дипломному проєкті спроектовано роботизована система для попередження розповсюдження коронавірусу COVID-19, шляхом попередження громадян, що не носять засоби особистого захисту, та виявлення потенційних носіїв вірусу засобами дистанційного виміру температури тіла для подальшої їх ізоляції.

Результатом виконання дипломного проєкту є технічний опис та моделювання роботизованої системи, а також розробка і реалізація інтелектуального програмного забезпечення з використанням технології навчання нейронних мереж.

Опис роботизованої системи виконаний за допомогою двох схем – схеми електричної структурної та схеми електричної функціональної. Схеми відображають будову, структуру поєднання елементів та можливу функціональність підсистеми. Кожна зі схем має повний словесний опис та порядок її розробки.

Розділ вибору технічних засобів містить перелік приладів та датчиків, використаних у системі. Кожен підрозділ описує поставлені вимоги, принцип роботи, будову та характеристики компонентів.

За допомогою засобів моделювання MATLAB та MATLAB/Simulink було проаналізовано роботу рухової підсистеми робота. Була розроблена модель, що дозволяє вивчати динамічні характеристики роботи підсистеми та впевнитися у правильності розрахунків.

Також була реалізована інтелектуальне програмне забезпечення для детекції потенційних порушників масочного режиму. Програма використовує технології штучних нейронних мереж для виявлення людей, які не носять маски. Для навчання нейронної мережі був використаний набір даних, який містить фотографії та опис усіх об'єктів присутніх на них, розподілені на два класи.

Система має гарантує виявлення людини на відстані до 20 метрів, обробку відео потоку з частотою 30 кадрів на секунду та аналіз до 7 об'єктів у кадрі.

Розроблена система спроектована для використання у місцях великого скупчення людей, як в приміщеннях так і на відкритому повітрі в регіонах з помірним кліматом. Система розрахована на легке вдосконалення для використання в інших кліматичних умовах та інтеграцію з іншими системами за допомогою інтернет з'єднання.

					ІА62.300БАК.002 ПЗ	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		60

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Робот Spot від Boston Dynamics [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.bostondynamics.com/spot>
2. Фото робота Spot [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://store.drone.ua/product/bostondynamics-spot/>
3. Робот «Скорпион» від компанії Promobot [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://promo-bot.ru/news/promobot-scorpio-first-presentation/>
4. Фото робота «Скорпион» [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://promo-bot.ru/use-case/disinfection/>
5. Jetson nano від компанії Nvidia [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.nvidia.com/ru-ru/autonomous-machines/embedded-systems/jetson-nano/>
6. Фото Jetson nano [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.nvidia.com/ru-ru/autonomous-machines/embedded-systems/jetson-nano/>
7. Відеокамера LI-OS02C10-MIPI-M12 від Leopard imaging inc [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://leopardimaging.com/product/csi-2-mipi-modules-i-px/csi-2-mipi-modules/li-os02c10-mipi-m12/>
8. Зображення відеокамери LI-OS02C10-MIPI-M12 [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://leopardimaging.com/product/csi-2-mipi-modules-i-px/csi-2-mipi-modules/li-os02c10-mipi-m12/>
9. Інфрачервона камера Teledyne Dalsa Calibir GXM640 [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.1stvision.com/cameras/models/Teledyne-Dalsa/Calibir%20640%20GXM%20gige>
10. Фото інфрачервоної камери Teledyne Dalsa Calibir GXM640 [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.cameraiq.ru/catalog/series/Calibir-GXM>
11. Модуль LTE Huawei ME906E [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.huawei.com/ua/>

12. Фото модуля LTE Huawei ME906E [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.4gtemall.com/huawei-me906e-4g-lte-ngff-m-2-wireless-module.html>
13. Акселерометр LIS3LV02DL [Електронний ресурс]: Режим доступу: https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Lis3lv02dl&gclid=Cj0KCQjwrIf3BRD1ARIsAMuugNtOkst2_iwchrdqz9-z5shbzcqha1y1iowopcsms_y9l9kxp-5acaqaaoaealw_wcb
14. Зображення акселерометра LIS3LV02DL [Електронний ресурс]: Режим доступу: https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/lis3lv02dl_31190.html
15. Давач кута повороту AKSIM-2 [Електронний ресурс]: Режим доступу: https://www.rls.si/en/aksim-2-off-axis-rotary-absolute-encoder?Gclid=Cj0KCQjwrIf3BRD1ARIsAMuugNuDU_hgguyysyma6bkcd7alt8-jplyh5mil_f7vcchhsssztooe5xqaajslealw_wcb
16. Фото давачу кута повороту AKSIM-2 [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.rls.si/en/aksim-2-off-axis-rotary-absolute-encoder>
17. Трьохосьовий електронний компас Pcs GY-271 QMC5883L [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://arduino.ua/prod2692-cifrovoi-kompas-qmc5883l-i2c-gy-271>
18. Фото компаса Pcs GY-271 QMC5883L [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.wareorigin.com/products/gy-271-qmc5883l-triple-axis-compass-magnetometer-sensor-module>
19. Модуль ublox NEO-6M [Електронний ресурс]: Режим доступу: <http://arduino.ru/forum/apparatnye-voprosy/problems-s-ublox-neo-6m>
20. Зображення модуля ublox NEO-6M [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.terraelectronica.ru/news/4608>
21. Трьохосьовий цифровий гіроскоп L3G4200D [Електронний ресурс]: Режим доступу: http://geekmatic.in.ua/ua/giroskop_gy_50_l3g4200d
22. Фото гіроскопу L3G4200D [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://mcustore.ru/store/datchiki-i-sensory/giroskop-l3g4200d-gy-50/>
23. Кроковий двигун NT42STH [Електронний ресурс]: Режим доступу:

<https://ntma.com.ua/krokovy-dvyguny/krokovy-dvygun-nt42sth-3-x-faznyj-1.2-nema-17.html>

24. Зображення крокового двигуна NT42STH [Електронний ресурс]: Режим доступу: <http://ingeneriyi.info/good/shagovye-motory/shagovyy-dvigatel-nt42sth-2-h-faznyy-09-nema-17>

25. Драйвер крокового двигуна TB6600 [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://diylab.com.ua/p64028127-drajver-krokovogo-dviguna.html>

26. Зображення драйвера TB6600 [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://ast3d.com.ua/product/drajver-shagovogo-dvigatelya-tb6600-4a-tb67>

27. Двигун махон DCX 32 L [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.maxongroup.com/maxon/view/category/motor?Target=filter&filtercategory=DCX>

28. Фото двигуна DCX 32 L [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.directindustry.com.ru/prod/maxon/product-7173-1616580.html>

29. Драйвер L298N [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=l298n>

30. Фото драйвера L298N [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.mini-tech.com.ua/drayver-dlya-dvigatelye-l298n-mini>

31. Ультразвуковий давач відстані US-025 [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://arduino.ua/prod182-yltrazvykovoi-datchik-rasstoyaniya-hc-sr04>

32. Фото ультразвукового давача US-025 [Електронний ресурс]: Режим доступу: http://www.100sensor.com/index_en.html

33. Інфрачервоний давач перепаду висоти E18-D80NK [Електронний ресурс]: Режим доступу: <http://www.kosmodrom.com.ua/el.php?Name=E18-D80NK>

34. Зображення інфрачервоного давача E18-D80NK [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://chipster.ru/catalog/arduino-and-modules/sensor-modules/5334.html>

35. Дача кута повороту RDE58S10 [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://roundss.en.alibaba.com/product/60777128958->

214492531/RDE58S10_customized10_18_bit_single_turn_solid_shaft_optical_absolute_rotary_encoder.html

36. Фото давача RDE58S10 [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://img.waimaoniunet/776/RDE58S10.pdf>

37. Структура згорткової нейронної мережі [Електронний ресурс]: Режим доступу: <http://itcm.comp-sc.if.ua/2018/synehlazov.pdf>

38. Faster R-CNN [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://arxiv.org/pdf/1506.01497.pdf>

39. SSD [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://arxiv.org/pdf/1512.02325.pdf>

40. YOLO [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://arxiv.org/pdf/1506.02640v5.pdf>

41. Приклад роботи YOLO [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.i-programmer.info/news/105-artificial-intelligence/11061-you-only-look-once-fast-object-detection.html>

42. Діаграма порівнянь алгоритмів [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://github.com/sejongresearch/FlowerClassification/issues/18>

43. Набір зображень для тренування нейронної мережі [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.kaggle.com/andrewmvd/face-mask-detection>